

azbil

アズビル株式会社

2012年4月1日、株式会社 山武はアズビル株式会社へ社名を変更しました。

〒100-6419

東京都千代田区丸の内2-7-3 東京ビル

<http://www.azbil.com/jp/>



azbilグループは環境に配慮した取組みを推進しています。

azbil Technical Review

azbil

Technical Review

2017年4月発行号

azbilグループ技術研究報告書 azbilテクニカルレビュー

2017年4月発行号

特集：新たな情報技術潮流における“人を中心としたオートメーション”



表紙について

大陸誕生の鍵をにぎる、地球内部における「流れ」

にし の しま 西之島

東京から南に約 1000 キロメートル離れた場所にある無人島・西之島。2013 年 11 月、当時の西之島から南東に約 300 メートル離れた海上で噴火が起きました。噴出した溶岩で新しい陸地が拡大し、従来の西之島とつながりました。噴火は 2015 年 11 月に止まり、西之島の面積は噴火前の 12 倍である 2.7 平方キロメートルになりました。一連の出来事は大きな話題となり、島自体の学術的価値にも注目が集まっています。

西之島は小さな陸地に見えますが、実は海面下に富士山と同等の大きさの海山が隠れています。この海山のさらに下で起きている、プレートの移動やマンツルの流れが噴火の原因です。

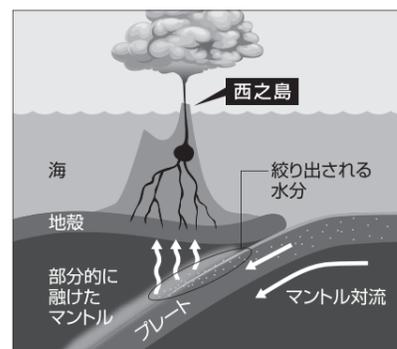
地球の表面はいくつものプレートに分かれています。日本近海にもプレートの境界があり、海洋プレート同士がぶつかりあっているのです。その際、海洋プレートに亀裂ができ、そこに海水が染みこみつつ、地殻（地球表面をつくる岩石層）の下のマンツルへ沈みこんでいきます。海洋プレートがマンツルまで沈むと、大きな圧力でプレート内から絞り出された水分が、マンツルに入りこみます。すると、マンツルの融点下がって部分的に融け、マグマができます。マグマはマンツルより軽いので上昇し、海底火山から噴出します。こうして西之島は拡大したのです。

なぜ、この島に学術的な価値があるのかというと、大陸誕生の謎の解明につながるかもしれないからです。太古の昔、海しかなかった地球で、どのように最初の大陸が誕生したのかは謎のままです。海上で成長した西之島は、最初の大陸誕生の過程を再現していると考えられます。

大陸の地殻は安山岩で、海洋の地殻は玄武岩で構成されています。調査の結果、西之島は太平洋上にありながら、大陸の地殻と同じ安山岩で構成されていると分かりました。一方、西之島の北にある伊豆諸島の三宅島、八丈島は、海洋の地殻と同じ玄武岩で構成されています。

この差異は、地殻の厚さの違いから発生したと考えられます。日本列島に近い北側の地殻の厚さは約 30 キロメートルで、西之島周辺の地殻の厚さは 20 キロメートル未満でした。このことから、西之島のように地殻が薄い場所で海洋プレートが沈みこむと、マンツルから安山岩マグマがつくれ、その噴出が大陸を誕生させるという仮説が立てられます。西之島の研究が進めば、大陸誕生の謎が解明できるかもしれません。

取材協力：海洋研究開発機構 田村芳彦
写真提供：海上保安庁（2014 年 8 月 26 日撮影）



表紙では、自然界のダイナミックな「流れ」を取り上げ、シリーズでお伝えしてまいります。

Contents

巻頭言：システム制御の役割って何だろう	1
東京工業大学 工学院	畑中 健志
特集に寄せて：IoT時代を迎えたazbilグループの取組み	2
アズビル株式会社 執行役員常務 ITソリューション本部長	新井 弘志

特集論文

自在	調節計におけるファクトリーオートメーション領域でのローカルコンピューティング機能	3
アズビル株式会社	アドバンスオートメーションカンパニー 岩切 研 相川 智彦	
進化	IoT時代におけるロバスト性の高いヒストリアンの開発	9
アズビル株式会社	ITソリューション本部 榎澤 武志	
アズビル株式会社	業務システム部 菊地 健一	
進化	新型LPガスマーターによるシステムスマート化とIoTの実現	14
アズビル金門株式会社	湖東 裕治 石倉 伸吾 鈴木 智恭	
進化	プラントの安全・安心操業に貢献するバルブ解析診断サービス	20
アズビル株式会社	ITソリューション本部 石原 亨 青田 直之	
アズビル株式会社	サービス本部 山崎 史明	
調和	ビル管理業務の効率化に貢献するビル向けクラウドサービスの開発 設備オペレータにベストプラクティスを提供する設備保全管理機能	27
アズビル株式会社	ITソリューション本部 高橋 哲也 関根 摩耶 潮田 尚史	
アズビル株式会社	ビルシステムカンパニー 森 達也 森山 真一郎 伊藤 伸樹	
調和	IoT時代におけるスマートトイレとビルディングオートメーションシステムの統合システム開発	33
アズビル株式会社	ITソリューション本部 鈴山 晃弘	
アズビル株式会社	ビルシステムカンパニー 福田 一成	

一般論文

融合	A Vial Loading System with Non-Contact Drive Mechanism Using Magnetic Technology	39
Azbil Telstar Technology S.L.U. アズビル株式会社 技術開発本部	Xavier Gomez Garcia Hisashi Beppu Mitsuharu Tanaka Yoichi Okawa	
自在	装置搭載向けに小型化し、耐ノイズ性を向上させたマスフローコントローラの開発	45
アズビル株式会社	アドバンスオートメーションカンパニー 館山 哲也	
進化	ビルディングオートメーションシステムのエンジニアリング作業効率化に貢献する新しいエンジニアリングツールの開発	51
アズビル株式会社	ビルシステムカンパニー 小柳 貴義 勝見 智行 木原 知枝	
	沖村 俊郎 西 賢 本多 香織	
	清田 英男	
快適	戸建住宅向け全館空調VAVシステムの開発	57
アズビル株式会社	技術開発本部 森川 誠 松浦 友朋 地下 久哉	
	小貝 和史 上運天 昭司 田中 裕造	
快適	快適・省エネヒューマンファクターの技術開発 居住者満足感に基づく室温変動制御	64
アズビル株式会社	技術開発本部 三浦 真由美 上田 悠	
アズビル株式会社	ビルシステムカンパニー 水谷 佳奈 原山 和也 太宰 龍太	
慶應義塾大学	伊香賀 俊治	

5つの戦略技術領域 azbil グループは事業を取巻く環境変化に対応し普遍的な価値を提供すべく、5つの戦略技術領域を定め研究・開発を進めています。

融合 = 人間・機械融合システム技術	進化 = わかる化プロセス情報技術	快適 = 快適空間計測制御技術
自在 = 自在計測制御技術	調和 = 環境調和計測制御技術	

Preface: Does Systems and Control Contribute to Solving Social Issues? 1

School of Engineering, Tokyo Institute of Technology

Takeshi Hatanaka

Introduction to the Special Issue: Initiatives of the azbil Group into the IoT era 2

Managing Executive Officer, General Manager of IT Solutions Headquarters,
Azbil Corporation

Hiroshi Arai

Articles on Special Issue

Freedom of Time and Place Local Computing Features in a Controller for Factory Automation 3

Advanced Automation Company, Azbil Corporation

Ken Iwakiri Tomohiko Aikawa

Evolution through IT Development of a Robust and IoT-Ready Data Historian 9

IT Solutions Headquarters, Azbil Corporation
Information Systems Department, Azbil Corporation

Takeshi Kurumisawa
Kenichi Kikuchi

Evolution through IT For Smarter Systems, a New LP Gas Meter with IoT Capabilities 14

Azbil Kimmon Co., Ltd.

Yuji Koto Shingo Ishikura Tomoyuki Suzuki

Evolution through IT Valve Analysis and Diagnosis Services for Increased Safety of Plant Operations 20

IT Solutions Headquarters, Azbil Corporation
Service Headquarters, Azbil Corporation

Toru Ishihara Naoyuki Aota
Fumiaki Yamasaki

Harmony with the Environment Cloud Computing Services for Building Management: Providing Best Practices for Facilities Management 27

IT Solutions Headquarters, Azbil Corporation
Building Systems Company, Azbil Corporation

Tetsuya Takahashi Maya Sekine Naofumi Ushioda
Tatsuya Mori Shinichiro Moriyama Nobuki Ito

Harmony with the Environment Report on the Integration of Smart Toilets with a Building Automation System 33

IT Solutions Headquarters, Azbil Corporation
Building Systems Company, Azbil Corporation

Akihiro Suzuyama
Kazunari Fukuda

Articles on Other Subjects

Biomimetic Production A Vial Loading System with Non-Contact Drive Mechanism Using Magnetic Technology 39

Azbil Telstar Technology S.L.U.

Technology Development Headquarters, Azbil Corporation

Xavier Gomez Garcia
Hisashi Beppu Mitsuharu Tanaka Yoichi Okawa

Freedom of Time and Place A Compact Mass Flow Controller with Improved Noise Resistance, Designed for Mounting on Manufacturing Equipment 45

Advanced Automation Company, Azbil Corporation

Tetsuya Tateyama

Evolution through IT A New Engineering Tool that Contributes to the Operational Efficiency of a Building Automation System 51

Building Systems Company, Azbil Corporation

Takayoshi Koyanagi Noriyuki Katsumi Chie Kihara
Toshio Okimura Masaru Nishi Kaori Honda
Hideo Kiyota

High-Quality Living Space A Variable Air Volume Controller for Home Central Air Conditioning 57

Technology Development Headquarters, Azbil Corporation

Makoto Morikawa Yuhou Matsuura Hisaya Jige
Kazufumi Kogai Shoji Kamiunten Yuzo Tanaka

High-Quality Living Space A Technology that Contributes to Office Workers' Well-Being and Conservation of Energy in Buildings: Fluctuating Air Temperature Control Based on a Study of Human Response to the Indoor Environment 64

Technology Development Headquarters, Azbil Corporation
Building Systems Company, Azbil Corporation
Keio University

Mayumi Miura Haruka Ueda
Kana Mizutani Kazuya Harayama Ryota Dazai
Toshiharu Ikaga

Five Strategic Technology Areas

In response to changes in the business environment, the azbil Group will focus its research and development on five strategic technology areas that have been identified as having the potential for far-reaching value.

Biomimetic Production = Machine Systems with Humanlike Abilities
Freedom of Time and Place = Flexible Measurement and Control

Evolution through IT = Advanced Technology that Clarifies Complex Systems
Harmony with the Environment = Systems Enabling Us to Live in Harmony with Nature

High-Quality Living Space = Individualized Environmental Comfort Systems

巻頭言

システム制御の役割って何だろう



東京工業大学
工学院

畑中 健志

近年、スマートグリッド、スマートシティ、Industry 4.0など、様々なキーワードが提唱されています。各国の事情は様々ですが、将来の生産年齢人口の減少が確定し、現在デフレに苦しむわが国では、このような生産性向上に資する技術への投資は大筋正当化されるものと考えられます。

研究の世界に目を向けますと、少なくとも工学分野では、このような社会の要請と無関係に研究を進めることは困難になっています。この点が、筆者が学生から教員へと立場を変えたこの10年に起こった最大の変化であると思います。例えば未解決問題が解かれたとしても、その問題が分野に閉じたものである限り、解法がいかにエレガントなものであれ、その成果に対する周囲の目は厳しいものになりました。そもそも工学の定義は、「公共の安全・健康、人間の福祉に資すること」を含みますので、この変化は、それが真の社会要請であるという限りにおいて、健全なものと解釈できます。

以上の傾向は、筆者が昨年滞在した米国の大学ではさらに顕著でした。米国の教員にとっては研究資金獲得が至上命題であり、論文はその副産物とみなす考え方が主流となっているため、資金の元となる社会的要請に対する感度の高さは日本の比ではありません。彼らは資金提供機関や政府の文書や講演から積極的に情報を収集し、大統領選にも自身の研究を関連づけながら結果を注視していました。わが国にも早晩その波が押し寄せるとは、過去の事例から容易に予測できます。

では、システム制御は社会的課題解決に貢献できるでしょうか。もちろん可能であると考えます。筆者は個別に提案された課題解決のピースをつなげる役割にその可能性を見えています。例えば、冒頭の課題とセットで語られることが多いキーワードにInternet of Things (IoT)とCyber-Physical-System (CPS)があります。米国の大学にて行われたある講演において、講演者は両者の違いを以下のように定義づけていました。

「IoTは大量データから情報抽出する開ループのプロセス、CPSは抽出された情報をもとに閉ループを組むコト」

近年の機械学習の目覚ましい発展により、前者に対する解法は数多提案されています。しかし、ループをつなげる前後のシステムは別物であって、つなげた後に全体がうまく機

能するとは限らないことはシステム制御が古くから教えているとおりです。双方向につなげる意味も恐さも熟知した制御研究者だからこそ、いかに要素技術をつなげれば全体が能力を発揮するかを知ることができると考えます。

以上の考えに立ち、ビル空調制御をテーマに行った米国での研究は幸運にも一定の成果を得ました。しかし、同時に課題も残されました。それは本技報の主題である、人を中心としたシステム設計という観点です。残念ながら、「人が中心であること」の定義は若輩者の筆者にはまだつかめていませんが、工学の定義に「対象の広がりに応じてその領域を拡大し、周辺分野の学問と連携を保ちながら発展する」とあるように、システム制御自体もその概念を正確に捉えられるよう、発展・変化する必要性を感じています。

最後に、ここ数年のもう1つの変化として、対象が大規模化するにつれ、研究室に閉じた研究が難しくなっているという点あげられます。特に実際に熟知した企業の方との共同の重要性が、日米問わず、改めて広く認識されつつあります。単にアカデミアの新技术を適用する場としてではなく、両者の対等な議論の上で価値の創造を模索する形の共同が求められていると考えています。

著者紹介:

2007年3月京都大学大学院情報学研究所数理工学専攻博士後期課程修了。同年4月より東京工業大学大学院理工学研究科機械制御システム専攻助教、2015年1月より同准教授、改組により2016年4月より同大学工学院准教授となり現在に至る。

ビルエネルギー管理およびネットワーク化ロボティクスの研究に従事。Passivity-Based Control and Estimation in Networked Robotics (Springer, 2015)およびマルチエージェントシステムの制御(コロナ社, 2015)の著者。博士(情報学)。

2017年計測自動制御学会制御部門研究賞(木村賞)、2016年度計測自動制御学会学会賞(著述賞)、2014年計測自動制御学会制御部門パイオニア賞、2009、2015年度計測自動制御学会論文集論文賞、10th ASCC Best Paper Prize Awardを受賞。2013年よりIEEE CSS Conference Editorial Board Member、2017年よりIEEE Transactions on Control Systems TechnologyおよびSICE Journal of Control, Measurement, and System IntegrationのAssociate Editor。

特集に寄せて

IoT時代を迎えた
azbilグループの取り組み

アズビル株式会社
執行役員常務 ITソリューション本部長

新井 弘志

昨今IoT, AI, ビック・データというキーワードを耳にしない日はない時代となっています。当社はこれらのキーワードが頻繁に使われる前から、空調制御, プラント制御, 工場の自動化という分野で、古くから物理世界情報のデジタル化とそれらデータの活用により、お客様へ価値を提供してまいりました。制御の分野では、人によるマニュアル制御から始まり、電気式制御装置, マイコン登場によるデジタル化, ネットワーク接続によるデジタルデータの蓄積・活用, インターネットの登場による他のシステムとの連携といった進化を遂げてきており、昨今のIoT, AIといった技術革新により、新しい時代を迎えようとしています。

ここでは、当社のこれまでの歩みを簡単に紹介するとともに、新しい時代に向けた取り組みについて紹介いたします。

当社は1975年に分散型制御システムを米国ハネウェル社とともに発表しました。それは、まさにIoTの基盤である、サイバー・フィジカル・システムの始まりであったと思います。それ以来当社は、常に物理情報のデジタル化とそれを利用した顧客価値創造に精神誠意努めてまいりました。デジタル情報は、それだけでは何ら価値を持ちません。そこに人の知恵と工夫を加えることによって、価値が創造されます。当社は長年、お客様とともに現場のデータを制御システムに蓄え、見える化から始まり、データ分析による設備予防保全や、プラントの安全運転支援などに取り組んでまいりました。それらのいくつかは、ソリューションパッケージとしてリリースしたのも数多くあります。その中には当社独自で開発したアルゴリズムやAIの領域に分類されるものも数多く含まれています。

まさにIoT時代を迎えた2015年には、プラントの予防保全に関して、熟練運転員が経験から学習・判断するのと同様に、ビック・データから様々な運転パターンを学習することで、設備・機器・プロセスの振る舞いの変調(異常予兆)を早期に検出し、警告する“BiG EYES™ (ビッグアイ)”という商品をリリースし、ある客先において、重要警報の発生を約4割減少させた実績があります。

クラウドというキーワードに関しては、当社はインターネット回線が普及する前の1990年代初頭より、専用回線を用いたビルや工場、プラントの当社の制御システムのメンテナンスサービスを運用してまいりました。そこでお客様の設備稼働状況や、エネルギーの使用状況などを遠隔監視、制御を実施してきた実績があります。

また、2015年の5月に、当社のERPベースの基幹情報システムをクラウド上で稼働いたしました。これは、販売から、生産、プロジェクト管理、購買、会計、連結決算に至る企業活動全般を支援する機能範囲をオンプレミスのレガシーシステムからクラウドへと切り替えたものです。現在、グループ各社に展開しつつあります。クラウド上で稼働させたことにより、社内にそれらのノウハウも蓄積されました。

同時期に、ビル管理用のクラウドサービスを開始しています。このクラウドサービスには、当社が独自開発した予測技術を用いた、エネルギーの負荷予測を高精度にシミュレーションする機能を搭載しています。

さらにアズビル金門でもIoT対応製品として、自動検針や設備管理システムとの連携が可能な通信機能付き超音波ガスメーターの販売を開始しています。

今回の特集では、「新たな情報技術潮流における“人を中心としたオートメーション”」を特集テーマとし、当社の最新のIoT, AIなどの新たな情報化技術に関連したオートメーション技術開発や、その技術を応用した製品開発の取り組みについて紹介いたします。

おかげさまでazbilグループは、昨年創立110周年を迎えました。その実績・ノウハウをふまえ、これからも「人を中心としたオートメーションで、人々の安心、快適、達成感を実現するとともに、地球環境に貢献します」という企業理念のもと、新たな技術を取り込み、進化させることでお客様に価値を提供し続けてまいります。

自在計測制御技術

調節計におけるファクトリーオートメーション領域での
ローカルコンピューティング機能

Local Computing Features in a Controller for Factory Automation

アズビル株式会社
アドバンスオートメーションカンパニー

岩切 研
Ken Iwakiri

アズビル株式会社
アドバンスオートメーションカンパニー

相川 智彦
Tomohiko Aikawa

キーワード
IoT, ローカルコンピューティング, 調節計, 液晶, タッチパネル, ブロック構造

IoT (Internet of Things)時代におけるファクトリーオートメーション(FA)領域でのローカルコンピューティングに対応した調節計形 C7を開発した。制御に使用するPID演算の結果を基に制御特性の変化を指標化し、制御系の状態変化を捉えることを可能にした。この指標を継続的に監視することで、異常の予兆を知ることが可能になる。

製品にはタッチパネル液晶を採用し、制御特性の変化を見やすくする、表示部と制御部を分離させ様々な場所に設置できるようにするなど、お客様に感じていただける「簡単」を追求した。また、調節計の各機能をブロック構造とすることで、市場要求による機能追加や入出力点数の増減に迅速に対応できるようにした。

For the IoT era, we have developed a controller, model C7, that can operate as a local computing device for factory automation. Capturing the changes in the control system was made possible by quantifying the changes in control characteristics based on the results of PID calculations used for control. By continuously monitoring the resulting index, we can predict abnormalities. We aimed for simplicity in the user experience by adopting a touch screen LCD display for the product, separating the display and control, and installing them in different places, which makes it easier to see the changes in control characteristics. In addition, adopting a block structure for each feature of the controller enables quick response to market demand for additional features or for an increase/decrease in the number of inputs/outputs.

1. はじめに

効率、生産性が飛躍的に向上したスマート工場を実現する手段としてIoT, クラウドコンピューティング, ビッグデータ処理といった技術が活用され始めている。これらは、品質改善や製造設備の効率稼働に向けた取り組みとして利用され始めているが、結果の把握と運用改善に留まっていることが多い。その先のスマート工場化に向けた課題として、製造設備の状況を把握するための診断や予防保全をどのように具現化するかが挙げられる。効率よくかつ確実な診断や予防保全を実現するためには製造装置レベルでのデータ収集、情報処理が重要となる。

昨今は大量のデータが集まるクラウドコンピューティングだけで生産現場におけるリアルタイムなデータ処理に対

応するのではなく、クラウドと生産現場の間にフォグコンピューティング, エッジコンピューティングといったデータ処理層を設けることで、ネットワーク負荷を上げずに、応答性や効率を向上させたシステムを構築する動きが出てきており、アズビルでも、製造装置に使用されている制御機器のデータを活用し、診断や予防保全に役立つパラメータを提供する技術としてローカルコンピューティングを提唱している。これはフォグコンピューティングなどと同様にクラウド側へのデータ集中、応答遅れといった課題を解決するための階層化であり、有効なデータが確保しやすい領域(ローカル機器側)でのデータ処理の位置づけとなる。ローカルコンピューティングに至る背景とこの技術を搭載したグラフィカル調節計形 C7について紹介する。



図1 グラフィカル調節計 形 C7

2. FA領域でのローカルコンピューティング

2.1 IoTの潮流とローカルコンピューティング

IoTは生産現場の大量データを集め、データ処理をすることで、見えなかった何かが見えるようになる、という期待で注目を集めてきたが、単純にデータを集めるだけでは、期待する結果が得られないという現実が分かってきた。

特にファクトリーオートメーションで診断や予防保全を実現しようとする場合、生産装置内の多数のプロセスデータを高速に収集することが必要であり、ネットワークの通信負荷、データ処理速度などを考慮すると、ハードルが非常に高く現実的な手段とは言えない(図2 beforeの状態)。よって各階層で必要に応じてデータ処理を実施し、その階層で判断できることはその階層で判断し、必要なデータ、その階層で処理しきれないデータのみ上位に渡していく考え方が普及してきた。これがフォグコンピューティング、エッジコンピューティングと呼ばれるものである。

アズビルではさらに処理階層を細分化し、製造装置内の制御機器(ローカル機器)がデータ処理を行う階層をローカルコンピューティングと定義した(図2 afterの状態)。

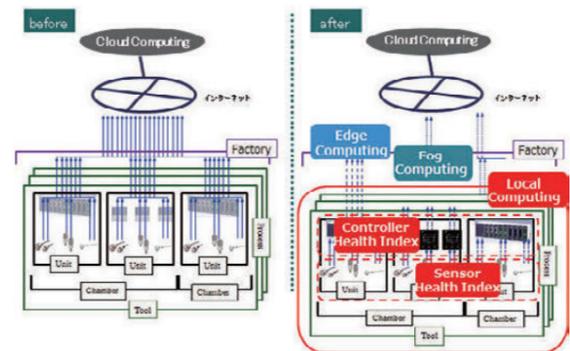


図2 IoT潮流の変化

2.2 ローカルコンピューティングにおけるデータ処理

診断や予防保全に有効なプロセスデータとして動特性というものがある。図3は電気ヒータを調節計で加熱制御した例である。

エネルギー(電力)を投入してから温度が上昇しているグラフ左側が動特性であり、過渡応答と呼ばれる状態である。それに対してグラフ右側の温度が安定した状態を静特性と呼ぶ。

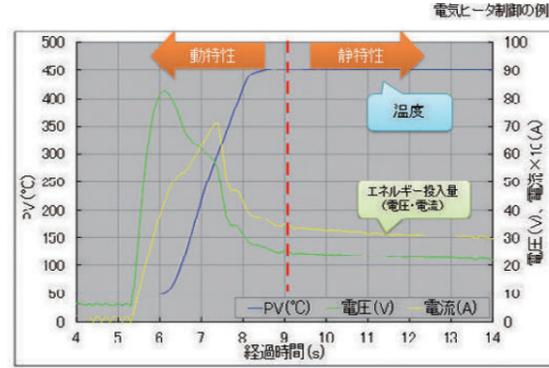


図3 静特性と動特性

動特性を制御理論に基づいて解析することで、このヒータを含む、加熱装置の状態変化を見つかることができるのだが、一般には解析に利用されるケースは少ない。

電気ヒータは物理現象として熱を発するわけだが、エネルギー投入量に比例して温度は高くなる。しかし過渡応答状態においてはエネルギーの投入量が大きいにも関わらず、温度が低いという例外的な状態が発生する。

エッジコンピューティング以上の階層では一般的に静特性データを取り扱うのだが、これは多変数解析などを実行する際に、過渡応答時の例外的なデータを含んでいた場合、有効な解析結果が得られない可能性が高くなるためである。

ローカル機器はこのような例外的な状態を加味した特有のデータを保有しており、エッジコンピューティング以上の階層と比べ、より適切なデータ処理が可能な階層と言える。図4に示すように、ローカル機器側でデータ処理を行うことで、解析に必要なデータ量や通信負荷を低減することができる。つまり、目的によってデータ処理階層を選択することが重要である。

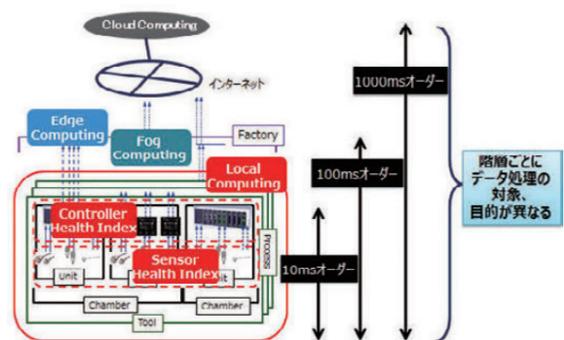


図4 階層別のデータ処理

2.3 調節計におけるローカルコンピューティング

ローカル機器特有のデータ処理の事例として、調節計が動特性データを利用し、制御系の診断や予防保全に活用できるパラメータ(以下ヘルスインドекス)を算出する機能を紹介します。

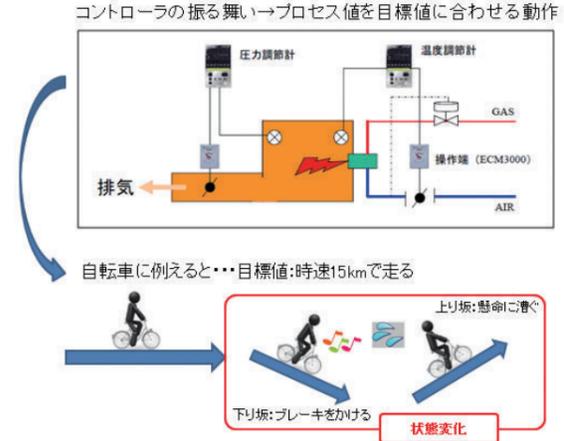


図5 調節計の動作の例え

図5は、調節計が制御を行う動作を自転車の操作に例えたものである。時速15kmで一定に走ることを目標とした場合、下り坂ではブレーキをかけ、上り坂ではペダルを一生懸命漕ぎ、一定にしようとする。人はこのように、目標に対して操作を自分で考えて調整している。

調節計は、センサなどからの入力値(制御対象:温度や流量などが目標とした値となるように各操作端(アクチュエータなど)を制御する機器として進化してきた。仮に経年劣化などにより操作端などの性能が変動(劣化)した場合でも、調節計は制御対象が目標とした値となるように、操作量を適切に変化させて制御している。

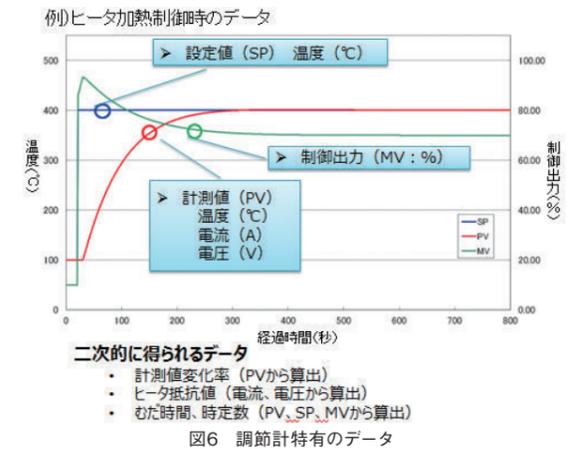


図6 調節計特有のデータ

図6は、動特性時に計測されるデータである。この操作量を含む状態変化には、操作端などの制御系の変動(劣化)も含まれており、それを指標化できれば、製造装置としての状態変化に結びつけることができると考え、開発したのがヘルスインドекスの1つ、「正規化応答性」である。「正規化応答性」は制御特性を表す伝達関数に含まれるプロセスゲインを時定数で除算した値である。

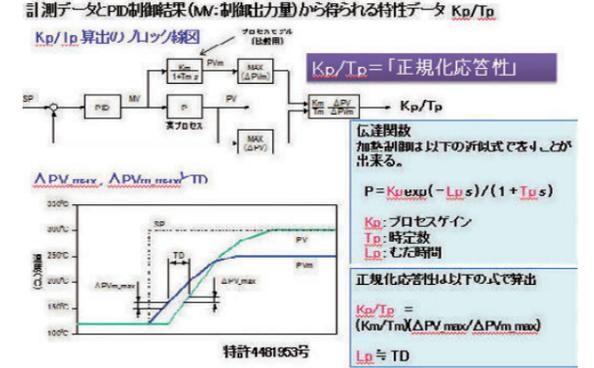


図7 正規化応答性の算出方法

この値は対象の制御系がもつ固有の数値であり、目標設定やPID定数変更に影響されず、制御対象の負荷状況に変化が発生すると変化する値である。制御データと正規化応答性の計算結果を比較した例を図8に示す。

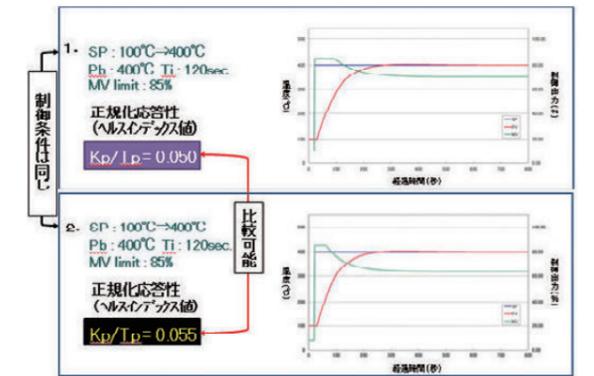


図8 制御結果と正規化応答性の比較

図8の「1」と「2」は加熱制御例であるが、目標温度(SP)、PIDの設定は同じである。トレンドグラフを比較するとそのプロセス差異は非常に微小である。この差は制御の専門家でなければ認識することは難しい。しかし正規化応答性を計算すると数値としての違いを確認することができるため、制御の専門家ではなくても早期に状態変化が発生していることを認識することができる。

バッチ式の熱処理炉の運用を例にとると、同じワーク(負荷)を熱処理する工程においてこの値が変化した場合、加熱、排熱に関連する部位に変化が発生している可能性が高く、例えば熱源(バーナーやヒータ、熱交換器など)の異常、断熱材の劣化、排気装置の異常など、部位の状態変化が進んでいる可能性として捉えることができる。

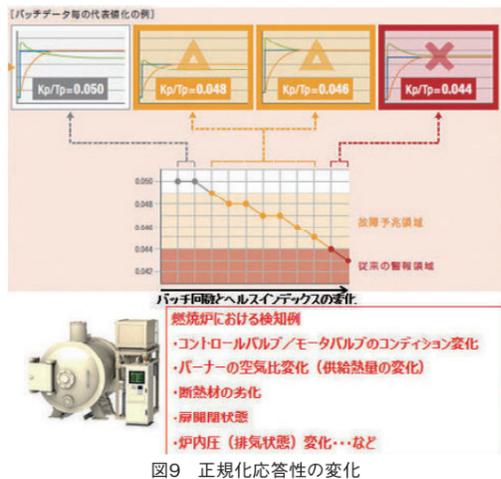


図9 正規化応答性の変化

この「正規化応答性」を算出するデータ処理こそがまさにローカルコンピューティングと言える。このデータ変化に応じて必要なデータを上位(エッジコンピューティングやフォグコンピューティング)に提供し、他のデータを含めた多変数解析などを実行することで、より緻密な診断や予防保全につなげることができると考えている。

3. グラフィカル調節計形 C7とは

前章までは、調節計におけるIoT対応の一例として、グラフィカル調節計形 C7で実現したローカルコンピューティングの機能としてヘルスインデックスについて紹介した。この機能はアズビルが提案する新しい考え方だが、従来の調節計を使用するお客様にはなじみのない機能である。また、グラフィカル調節計形 C7はヘルスインデックス以外にも新機能があり、それらに対する期待感もある。

これらの機能をお客様の様々な場面において「簡単に」使っていただき、効果を実感していただくことを目標として、製品開発を行った。グラフィカル調節計形 C7の特長として以下がある。それぞれの特長が提供する「簡単」について次章以降で紹介する。

- ・その時、最適な表示
- ・状態が分かる/操作が分かる表示部
- ・表示部と本体部の分離構造
- ・機能ごとのブロック構造
- ・上位機器との簡単な接続
- ・パソコンローダ(形 SLP-C7)

4. グラフィカル調節計形 C7で提供する「簡単」とは

4.1 その時、最適な表示

装置が稼働している状況において何らかの要因によって異常状態になった場合、速やかに異常状態であることをお客様に認知してもらう必要がある。

グラフィカル調節計形 C7は最大4ループの制御を行うが、お客様が画面を見る距離に応じて必要な情報を提供できるように、表示部から離れている場合は、「簡単に」

正常/異常を判断でき、近づくとその動作の詳細が分かるデザインとした。

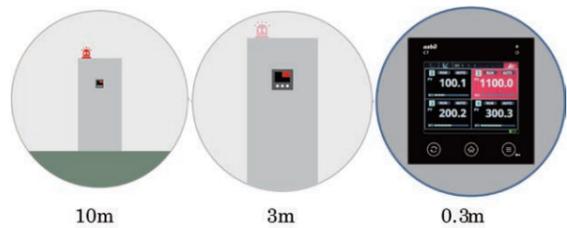


図10 距離に応じた優先順位

また、お客様によって表示は横並びより縦並びの方が好ましいケースもある。グラフィカル調節計形 C7では、好みに合わせて「簡単に」表示の並びを変えることが可能である。図11は2ループ表示における横並び表示、縦並び表示を示す。



図11 横並び表示、縦並び表示

4.2 状態が分かる/操作が分かる表示部

従来の調節計では7セグメントまたは11セグメントのLEDまたはLCDを使用した数値表示主体の表示であった。グラフィカル調節計形 C7では表示部にドットマトリクスのフルカラー液晶を採用しており、高い表現力を保有している。

その表現力により、様々な場面での「簡単」を提供できるようになった。

4.2.1 ヘルスインデックスの表示

前章で説明したヘルスインデックスは、制御特性を指標化し、それを比較することで制御系の状態変化を推測するための気づきを与える。グラフィカル調節計形 C7はそのヘルスインデックスの数値を表示し比較することができるため、過去との差異に「簡単に」気づくことができる。図12はヘルスインデックスを表示している画面だが、最新(右端)のデータが小さくなる傾向であることを示している。この傾向が継続すれば、装置内の何かの状態が変わり続けており、その状態がさらに悪化すると制御動作に影響をおよぼす可能性があることを示唆している。



図12 ヘルスインデックス表示画面

4.2.2 分かる操作画面

お客様の操作状態によっては、調節計のモード変更(RUN/READY, AUTO/MANUALなど)や、設定値変更(SP変更)を行うことがあるが、その操作を頻繁に行う人ばかりではない。

操作に慣れていない人でも直感的に操作できるように、タッチパネルを採用し、それぞれのボタンに分かりやすい名称を表示するようにした。表示内容は日本語/英語の切替えが可能であり、より幅広いお客様が表示内容の意味を理解した上で「簡単に」操作することができるようになった。



図13 日本語メニュー画面

4.2.3 分かるアラーム画面

従来の調節計では異常発生時に、調節計の表示部に表示されたコードを基に取扱説明書を参照しその内容を把握する必要があった。そのため、取扱説明書が手元ない場合などその内容把握に時間を要していた。

グラフィカル調節計形 C7では異常状態となった場合は、図14に示すように背景を赤く点灯させ、異常状態である旨を明確に表示する。アラーム情報も充実しており、異常が発生している箇所を、本体部をイメージした図15を用いて表示する。



図14 アラーム表示1



図15 アラーム表示2

異常状態について確認する場合は、アラームボタンを押

すことにより、どの項目が異常状態となっているか明示する(図16)。図16の赤くなっているボタンにタッチすることにより、図17に示すように、想定される異常原因を表示部に表示する。これにより即座に異常内容を把握し、その復旧に取り掛かることが可能である。



図16 アラーム画面3



図17 アラーム表示4

4.3 表示部と本体部の分離構造

グラフィカル調節計形 C7では、表示部と本体部を分離構造とした。表示部を分離構造とすることにより、これまで表示部にあった設置に関する多くの制約をなくすことができた。

- ・背面のスペースが少ない場所にも設置が可能
- ・表示部を任意の角度で設置することが可能
- ・設置するための取付け穴が丸穴になった。(従来の92角穴にも設置可能)
- ・表示部と表示部を縦横に密着して設置することが可能
- ・表示部と表示部を密着して設置した場合でもIP規格を満たせるようになった。

これらの制約がなくなったことにより、お客様の装置の理想的な位置に表示部を「簡単に」設置することが可能になった。表示部と本体部の接続は表示部への給電も含めてLANケーブルによる接続のみである。

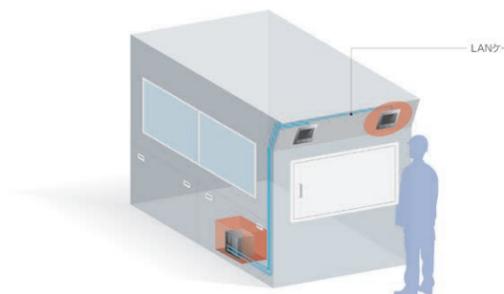


図18 分離構造による装置への設置例

4.4 機能ごとのブロック構造

本体部の基板構成は主要な機能単位でのブロック構造とした。ブロック構造とすることで、お客様の要求に適した入出力構成の製品を「簡単に」提供できるようになった。また、何らかの要因によりブロックが損傷し機能低下した場合でも、ブロック交換による現場での迅速な復旧が可能となった(交換作業は当社関係者のみ実施が可能)。



図19 ブロック構造

4.5 上位機器との簡単な接続

調節計はセンサや操作端を接続することにより、それ単体で装置の制御を行うことができるが、上位のシステム(PLCなど)と通信により接続され、高度なシステムの一部として使用されることもある。一般的にそういったシステムの中で、機器同士の通信を行う場合は、通信を行うためのプログラムを上位システム側で設計する必要があった。グラフィカル調節計形C7では、お客様によるプログラム設計の負担を減らし、「簡単に」PLCと接続するために、PLCリンクの機能を追加した。お客様は、パソコンローダによる簡単な設定を行い、グラフィカル調節計形C7とPLCをLANケーブルで接続するだけで、PLCとの通信が可能になる。

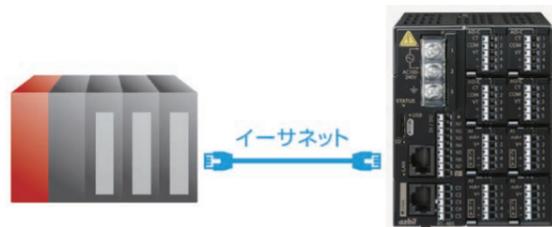


図20 20 PLCとの接続イメージ

4.6 パソコンローダ(形 SLP-C7)

各メーカーの競争の結果、調節計の機能は年々進歩し、より高度な機能が実現されているが、それに伴い、調節計を使用する際に設定しなくてはならない項目も増加傾向であった。操作が煩雑になる設定はパソコンローダを使用することを前提として、表示部で表示する項目を絞り込むことにより、「簡単な」メニュー構成を実現した。

グラフィカル調節計形C7では専用のパソコンローダ(形 SLP-C7)を用意しており、「簡単に」設定が可能である。このパソコンローダにはフリー版とスタンダード版があるが、フリー版では設定機能と簡易モニタ機能、簡易コンパクトデータストレージ^{注1}(CDS)表示機能を有している。また、スタンダード版のパソコンローダでは、充実したモニタ機能、CDS表示機能をサポートしており、複数の波形の比較や波形の重ね合わせが可能である。

注1 コンパクトデータストレージとは、調節計の制御データやエッジコンピューティングのために一次加工した制御データを保存する機能であり、アズビル固有の呼び方。

5. おわりに

これまでグラフィカル調節計形C7の特長について説明してきた。現在出荷中の製品は従来の調節計をベースとした機能を主にサポートしている。グラフィカル調節計形C7は継続して開発を行うために有利なプラットフォームとしての下記機能を有しており、お客様、市場の要望にあわせた機能の拡張や、新機能の開発を行っていききたい。

- ・自由度の高い表示部
(ドットマトリクス液晶, タッチパネル)
- ・ブロック構造の本体部
(共通インターフェース, 機能脱着の容易さ)

<商標>

イーサネットは富士ゼロックス株式会社の商標です。

<著者所属>

- | | |
|-------|--|
| 岩切 研 | アズビル株式会社
アドバンスオートメーションカンパニー
CP開発部 |
| 相川 智彦 | アズビル株式会社
アドバンスオートメーションカンパニー
CPマーケティング部 |

IoT時代におけるロバスト性の高い ヒストリアンの開発

Development of a Robust and IoT-Ready Data Historian

アズビル株式会社
ITソリューション本部

榎澤 武志
Takeshi Kurumisawa

アズビル株式会社
業務システム部

菊地 健一
Kenichi Kikuchi

キーワード
ビッグデータ, IoT, ヒストリアン, NoSQL, OPC

あらゆるものがインターネットにつながるIoT (Internet of Things)時代を迎え、これまでセンサデータの収集と蓄積に用いられてきたヒストリアンがより重要な位置を占めるようになって考えられる。これまでのセンサデータの蓄積のみならず、より高度な実績データの生成機能を実現するとともに、よりロバスト性を向上させるためのデータ冗長機能、経路冗長機能を備えたヒストリアンePREXION™を開発した。

As the world enters the era of the IoT (Internet of Things), sensor data collection and the data historians will have a more important role. We have developed a data historian known as ePREXION. In addition to simply collecting sensor data, it can produce results of a higher quality than existing systems and is equipped with data and circuit redundancies for improved robustness.

1. はじめに

あらゆるものがインターネットにつながり、あらゆる情報がコンピュータに取り込まれる時代となり、様々なセンサ、制御機器、プロトコルが開発され大きな技術変革を迎えようとしている。あらゆる情報がコンピュータに取り込まれる世界では、ビッグデータに対応できるデータベースが業界では登場しているが、そのためには収集速度、データの保管方法、データの検索方法、データの解析方法など様々な技術課題が存在する。当社ではこれらの課題をいち早く捉え、センサデータをはじめとするヒストリデータのビッグデータ化に対応するため、新たなヒストリアンとしてePREXIONを開発した。

2. ePREXIONのアーキテクチャ

2.1 ePREXIONのシステム構成

ePREXIONは、様々な分野におけるプラントや工場の

DCSやPLCなどの監視・制御システムから製造データを自動収集もしくは他のシステムから書き込みし、蓄積、演算し、長期にわたりヒストリデータとして管理するシステムである。



図1 システム構成例

図2に示すようにePREXIONサーバは、リアルタイムヒストリサーバ、デバイスIOサービス、ヒストリデータベースから構成される。

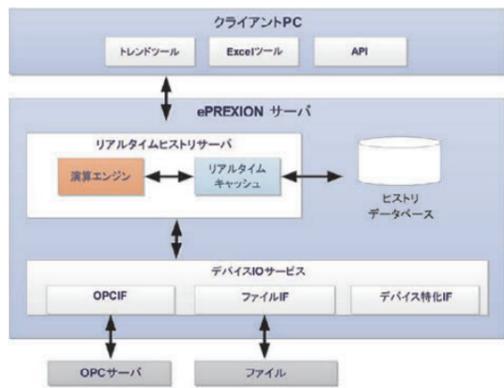


図2 機能構成

リアルタイムヒストリサーバは、クライアントアクセスを管理し、リアルタイムな応答性を高めるためのリアルタイムキャッシュ、演算を実行する演算エンジンから構成され、ヒストリデータベースの管理を行う。デバイスIOサービスは、標準ではDCS、PLCなどと接続するためのOPCインタフェース、他社システムとファイル交換するためのFileインタフェースやPLCと高速に通信するためのインタフェースを備える。その他のシステム接続にも対応するために、デバイスIOサービスはプラグインにより拡張可能となっている。クライアントからアクセスするためのAPIは、Microsoft®.NET Framework、OPC DAなどを提供しており、アプリケーションの構築に必要な環境を備えている。またデータ解析用のツールとして、ヒストリデータをグラフ化するトレンドツール（図3）と、Excelにてレポートを作成するツール（図4）を提供している。

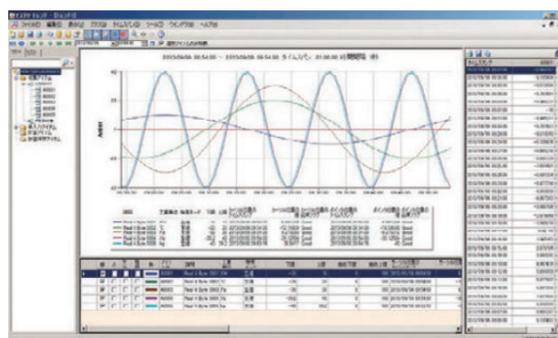


図3 トレンドツール

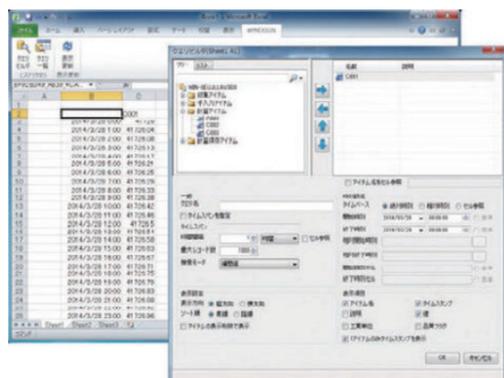


図4 EXCELツール

2.2 ePREXIONのデータベース

これまで様々なデータの格納基盤としてリレーショナルデータベースが多く用いられてきたが、パフォーマンスやスケラビリティに多くの課題が存在する。そのためリレーショナルデータベースに代わりビッグデータを支えるデータベースとしてNoSQLと呼ばれるデータベースが産業界で登場しており、インターネットのサービスを支えるデータベースとして活用されている。NoSQLは従来のリレーショナルデータベースの課題を解決するための用途に最適化されたデータベースである。ePREXIONのデータベースもNoSQLと呼ばれるデータベースの1つであり、当社が独自に開発したデータベースエンジンを内蔵している。このデータベースエンジンは時系列のヒストリデータに最適化して開発したものである。

図5に示すようにリレーショナルデータベースを使用してヒストリデータを格納する場合は、一般的には時刻、センサ値を列として定義し、行として各時刻の値を格納する表形式でデータを保持する。

時刻	センサ値A	センサ値B	センサ値C
10:00:00	23.2	23.5	23.4
10:11:00	23.3	23.6	23.3
10:12:00	23.2	23.5	23.4
10:13:00	23.2	23.5	23.4
10:14:00	23.2	23.4	23.2

図5 リレーショナルデータベースでのデータ格納

リレーショナルデータベースを用いる場合は、同一タイミングで取得した複数のセンサ値を1つのテーブルにまとめて格納する。しかしながら1つのテーブルに複数のセンサの値を格納するとセンサの収集周期の変更を行った場合、テーブルごとに収集周期を変更する必要があるため柔軟性が低下するという課題が生まれる。ヒストリデータをリレーショナルデータベースに格納する製品では、長い期間のデータの分析や周期の短いデータの収集を行うと、ディスクに保存された多くのデータをスキャンする必要があるため、ヒストリデータの分析時の応答時間がデータの増加率以上に悪化する。

ePREXIONのデータベースは、一般的にKVS (Key Value Store) と呼ばれるNoSQLデータベースの構造を有している。図6に示すようにヒストリデータは項目ごとに「キー」と「値」のペアの配列として格納されており、「キー」として時刻を、「値」としてセンサ値を格納している。

センサA		センサB		センサC	
時刻	値	時刻	値	時刻	値
10:00:00	23.2	10:00:00	23.5	10:00:00	23.4
10:11:00	23.3	10:11:00	23.6	10:11:00	23.3
10:12:00	23.2	10:12:00	23.5	10:12:00	23.4
10:13:00	23.2	10:13:00	23.5	10:13:00	23.4
10:14:00	23.2	10:14:00	23.4	10:14:00	23.2

図6 KVSでのデータのデータ格納

ePREXIONでは、キーとして時刻を値ごとに持つことになるため、単純には領域の効率が悪化すると考えられる

が、実際にはデータを格納する領域は少なく済む。ヒストリデータの時刻は周期性を持つことや、センサデータは連続値をとる頻度が高いことから、非常に効率の高い圧縮アルゴリズムを適用できる。これによりセンサデータごとにディスクに保存する容量が小さくなり、ディスクへの読み込み範囲が少なくなることで高い応答性を実現している。また時刻を個々のセンサ値に持つことができるため、センサごとの収集周期を自由に変更できる。

2.3 ePREXIONの演算エンジン

センサから収集したデータを活用するためには、何らかの演算が必要である。これまでのヒストリアンでも様々な演算機能が実現されてきた。当社のヒストリアンでもセンサから収集したデータの演算機能を有していたが、様々な条件には対応できず外部プログラムを作成する必要があった。

ePREXIONでは、センサから収集したセンサタグ、任意のパラメータ値をヒストリ値として保持する手入力データタグ、並びにユーザーが任意に作成可能な関数の3つを計算タグの式として使用可能である。計算タグは呼び出し時に計算され、データが保存されないタグである。この計算タグ自身も演算式中使用できる。呼び出し頻度の高い計算タグの参照時のパフォーマンスを向上させるため、計算タグの値を任意の周期で計算保存タグとして保存することができ、計算保存タグもまた演算式で使用できる。これらの関係を図7に示す。

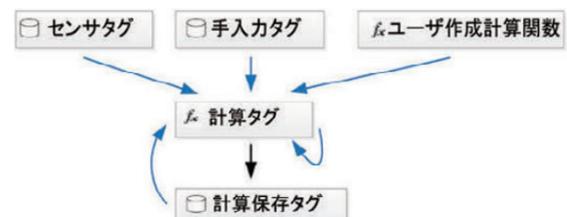


図7 演算機能の関係図

演算式では四則演算の他に、期間を指定した平均、合計をはじめとする集合演算や、条件式の記述ができる。これによりヒストリデータを用いた様々な計算が実現でき、あるケースでは外部プログラムによる計算をすべて置き換えることができた。

ePREXIONでは、これらの機能を実現するための機能とヒストリの演算に適した式の記述、実行エンジンを開発した。

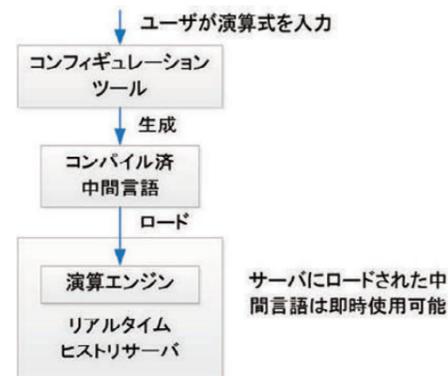


図8 演算エンジンのフロー

図8に示すようにユーザーが入力した式はコンパイルされ、コンパクトな中間言語が生成される。生成された中間言語は、リアルタイムヒストリサーバにて即時使用可能となる。コンパイル済の形式とすることで、動作の高速化を実現している。

図9に示すように計算タグの演算結果を保存する計算保存タグは、さらに別の計算タグで使用され計算保存タグとして保存するネスト構成が可能である。例えば各フロアのメーターから入力したデータを基に、フロアのエネルギー使用量を計算し、フロアのエネルギー使用量から事業所全体のエネルギー使用量を計算するなどの、階層的な計算に利用可能である。



図9 演算機能のネスト

ネスト構成とした場合は、演算式で使用される元のデータが保存された後に演算を実行しないと正しい結果とならないため、依存関係に従い順番を設定する必要がある。しかしながらネストの深さが10階層などと多くなると、手作業で順番を付けることはコストのかかる作業であり、誤りも多くなる。そのためePREXIONでは計算タグと計算保存タグの使用関係を解析し、自動で順番を設定することを可能とした。

3. ePREXIONのロバスト性向上機能

ePREXIONでは、ヒストリアンのロバスト性向上のために、次の機能を提供している。

- ・ヒストリデータを保護するデータ冗長機能
- ・データ収集を行う経路を冗長する経路機能

3.1 ヒストリデータを保護するデータ冗長機能

従来ヒストリアンではサーバが故障した場合に備え、2つのサーバ上にヒストリアンを設置することによりサーバの故障に備えていた。しかしながらこの方式では、2つのサーバをコンフィギュレーションしなければならない、また2つのサーバのヒストリデータはタイミングや通信の遅延などにより差異が生じ、同じデータにはならないという課題があった。ePREXIONではコンフィギュレーションとヒストリデータの同時性を担保するための機能としてデータ冗長機能を開発した。

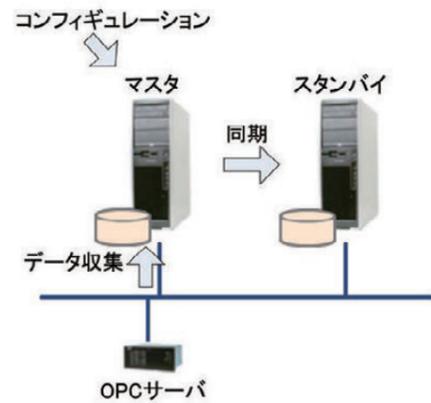


図10 データ冗長構成

図10に示すようにデータ冗長構成は、マスタとスタンバイの2つの役割のサーバで構成される。コンフィギュレーションはマスタサーバに対してのみ行うことが可能で、コンフィギュレーションしたデータは自動的にスタンバイに転送される。またデータ収集はマスタサーバのみが行い、収集されたデータはスタンバイに転送され反映される。このようにマスタとスタンバイのデータは常に同じとなる。マスタからスタンバイにデータが反映される時間は最大負荷がかかっている場合でも1秒から3秒程度と短い。またスタンバイのサーバは、トレンドツールやExcelツールなどからは読み込み専用のサーバとして使用できるため、正しくデータが同期されていることの確認や、スタンバイサーバを読み込みの負荷の分散にも利用することができる。

マスタサーバが異常停止した場合やネットワークが切断された場合は、スタンバイサーバの役割がマスタとなり、データ収集が実行される。役割の切替えは手動でも行うことが可能である。

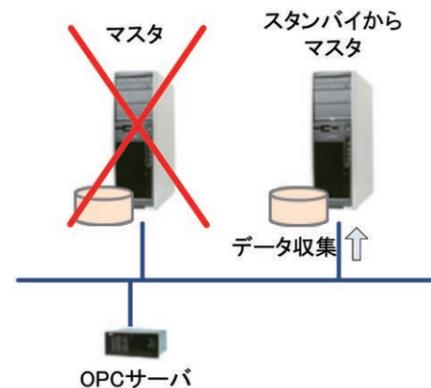


図11 データ冗長時の切替え

ePREXIONでのデータ冗長を実現するための方法としては、差分を転送する方法を用いている。図12にてデータ収集されたデータがマスタサーバからスタンバイサーバに転送されるまでの流れを説明する。

1. データ収集
デバイスIOサービスでデータを収集する。
2. 差分転送

デバイスIOサービスからリアルタイムヒストリサーバに収集データは送信され、さらにスタンバイサーバに転送される。

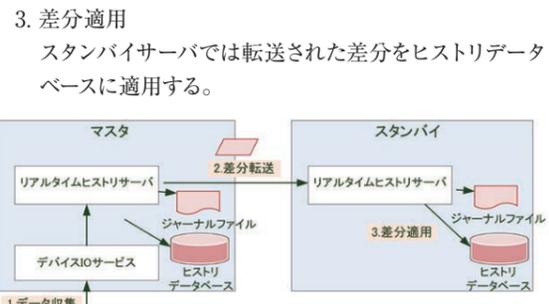


図12 データ冗長の仕組み

ePREXIONでは、マスタサーバからスタンバイサーバに転送する情報量が少なくなるように最適化を実現しており、マスタサーバとスタンバイサーバの通信帯域が比較的狭い場合でも使用できるよう設計している。

リアルタイムヒストリサーバは、収集したデータの差分をジャーナルファイルというファイルを用いて管理する。ジャーナルファイルはスタンバイサーバをメンテナンスなどでシャットダウンしている場合に、マスタサーバからスタンバイサーバに転送できなかった差分情報を保持する。メンテナンス中に転送されなかったデータは、スタンバイサーバのメンテナンスが終了した後に、マスタサーバのジャーナルファイルの情報をスタンバイサーバに転送することによって再同期をすることが可能となる。

3.2 データ収集を行う経路を冗長する経路冗長機能

ゲートウェイを2系統用意している制御システムからデータ収集を行う場合は、2系統両方からデータを収集することにより可用性を高められる。またデータ収集する設備までのネットワーク経路が冗長化されている場合にも対応することができる。これらの機能を経路冗長機能と呼んでいる。

冗長システムの構築においては、いくつかの課題がある。冗長機能に直接かかわる他系統のゲートウェイの監視方法や異常発生時の検出とスピーディな系統の切替えなどの課題もあるが、今回の報告では3つの課題と解決方法について紹介する。

- ・二重化冗長と待機冗長それぞれの課題
- ・コンフィギュレーション情報一元化の課題
- ・メンテナンス操作の一元化の課題

3.2.1 冗長方式を混在できる仕組み

冗長方式には二重化冗長と待機冗長がある。二重化冗長方式では、2系統から収集を行うために、ゲートウェイに負荷をかけてしまうという課題があった。また、待機冗長方式では、待機状態から稼働状態に移行するまでの間の収集データが欠損してしまう。

図13に示すようにデバイスIOサービスでは、複数のコネクションごとに冗長方式の選択ができる仕組みとした。この仕組みを使うことで、冗長を行う制御システムの要件に

合わせて二重化冗長にするか待機冗長にするかもしくは冗長しないかを選択することができる。

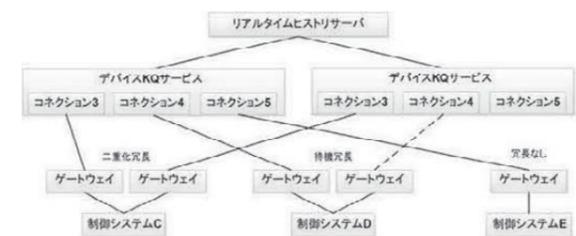


図13 経路冗長の仕組み

3.2.2 コンフィギュレーション情報を一元化する仕組み

冗長システムでは、2系統のデバイスIOサービスに同様なコンフィギュレーションを行う必要がある。しかし別々にコンフィギュレーションを行うのでは、操作に間違いが生じる恐れがある。

そのため2系統の設備の定義をセットでコンフィギュレーションすることとした。また当初は冗長で稼働していなかったシステムを冗長化することも可能である。さらに制御システムのゲートウェイそれぞれの定義が異なり、正しく収集できなくなることを防ぐために、定義が異なる場所を表示することができる。これらの仕組みにより、コンフィギュレーション情報の食い違いを防止している。

3.2.3 メンテナンス操作の一元化の仕組み

ゲートウェイとの接続や切断などのメンテナンス操作をそれぞれに行くとコンフィギュレーションと同様に間違いが生じる恐れがある。

2系統のデバイスIOサービスをペアとして扱うことを可能とした。それによりゲートウェイとの接続・切断や、状態取得を同時に2系統に行うことが可能になる。

4. おわりに

今後IoTにより様々なセンサからデータが蓄積されるようになる。しかしながらセンサから収集したデータは、そのまま意味のあるデータとして活用することはできない。ePREXIONでは単なるデータの蓄積ではなく、演算機能により有意なデータを作り、有意なデータのみを長期蓄積が可能となる。

また機械学習などの技術を用いてビッグデータを解析するには、解析対象となるヒストリデータを保護することや確実に収集されることも重要となる。そのため、収集したデータの保護、収集経路の冗長という機能でロバスト性を向上させた。

クラウド時代の到来により、企業全体という規模から世界規模へとシステムはスケールアップしている。また機械学習などを用いたアプリケーションも、これまで以上に早いスピードでユーザーが活用できるようになることが必要となっている。これら時代の変化に対して十分な貢献ができるように進化を続けたい。

<商標>

ePREXIONはアズビル株式会社の商標です。
Ethernetは、富士ゼロックス株式会社の商標です。
Microsoft、Excelは米国Microsoft Corporationの米国およびその他の国における登録商標または商標です。

<著者所属>

榎澤 武志 アズビル株式会社
ITソリューション本部ITソリューション開発部
菊地 健一 アズビル株式会社
業務システム部

新型LPガスメーターによる システムスマート化とIoTの実現

For Smarter Systems, a New LP Gas Meter with IoT Capabilities

アズビル金門株式会社

湖東 裕治
Yuji Koto

アズビル金門株式会社

石倉 伸吾
Shingo Ishikura

アズビル金門株式会社

鈴木 智恭
Tomoyuki Suzuki

キーワード
IoT, スマートメーター, LP ガス, 高分解能

ユーティリティメーターのスマート化に対する期待は世界的に高まっており、日本国内でもスマートメーターが普及期を迎えると予想されている。今回開発した新型LPガスメーターは、高い信頼性と長い実績を持つ膜式を採用しながら、メーター構造や磁気センサ配置の最適化により計測分解能を向上させるとともに、通信端末内蔵スペースを確保し、各種通信方式のモジュールを選択できる構造とした。Low Power Wide Area (LPWA) など次々と登場する通信方式に対応できるInternet of Things (IoT)時代に備えたスマートメーターである。

Expectations for smarter utility meters are rising throughout the world. In Japan too, it is anticipated that the spread of smart meters will greatly increase. Our recently created LP gas meter was designed using highly reliable tests with a long history of valid results. The structure of the meter and the placement of its magnetic sensor were chosen carefully to maximize measuring ability. In addition, internal space for communication terminals was reserved to allow selection from various communication modules. With the flexibility to handle the rapidly appearing new Low Power Wide Area (LPWA) communication methods, etc., it is a smart meter that is prepared for the era of the Internet of Things (IoT).

1. はじめに

1.1 エネルギー業界の動向

電力業界ではガス業界に先駆けて、スマートメーター化が進んでいる。電力メーターをスマートメーター化することで、細かな使用状況を確認できるため、電気事業者は多種多様なサービスの提供をすることが可能になった。今後、ガスメーターにおいてもスマートメーター化が加速することが予想され、今までのガス使用量計測と安全確保に加え、ガス消費者に対する細かな料金プランを提供する事業

の革新が期待される。そこでアズビル金門では、通信端末をメーターの内部にビルトインできる新型LPガスメーター(以下、開発品)により、今後のガス事業の革新へ対応していく。

1.2 海外と国内における電気用スマートメーターの普及とその背景

例えば米国においては小規模な電力事業者が多く、電力設備への投資が十分に行えないため、老朽化した設備が多くなっており、2000年のカリフォルニアの大停電や、2003年のニューヨークの大停電などの要因となった。その

ため、スマートメーターを用いて需要家の使用状況を把握し、ピーク時の使用量を制限することで電力供給の平滑化を図った。また、将来増大すると予想される再生可能エネルギーの電力網への取込みを行うためにもスマートメーター化が進められている。

日本においては1997年に採択された「京都議定書」や2008年の洞爺湖サミットにて、温室効果ガス削減が目標として掲げられた。電力事業者は、スマートメーターにより電力使用量をモニタリングし、ピーク時の供給量をコントロールすることで、電力使用量を平滑化し、新たな発電所の建設を抑制するなど、温室効果ガスの削減に寄与した。また、2011年に発生した東日本大震災の影響による原子力発電所の稼働停止を機に、一般需要家においては省エネルギー意識が高まった。その影響で再生可能エネルギーの電力網への取込みが進むと同時にスマートメーターの導入が加速している。

1.3 LPガス業界における、スマートメーターの普及と課題

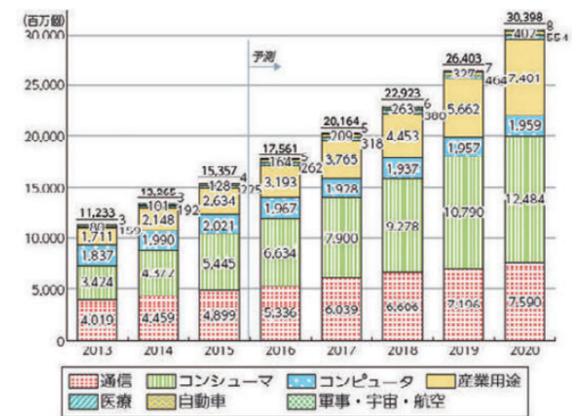
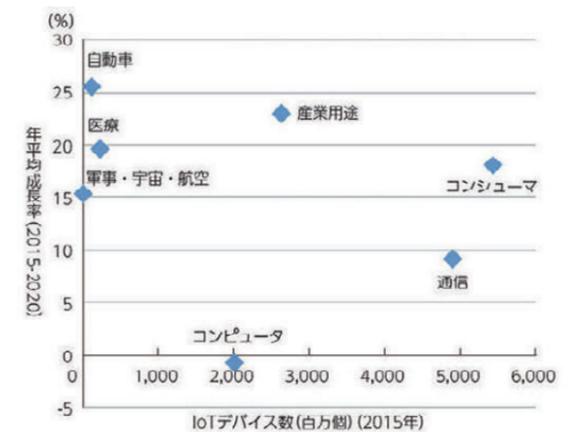
LPガス業界では通信機能を有するマイコンメーターS(以下、現行品)や超音波式ガスメーターが普及しており、LPガスを使用するほとんどの家庭に設置されている。そのうちセンター設備に接続し、通信で検針を行っている自動検針需要家数は600万件以上に達している。自動検針を使用しているガス事業者は、メーターが保安機能により遮断した場合の緊急出動、料金不払い需要家に対する遮断制御、LPのガスボンベ残量管理によるボンベ交換の合理化などに活用しており、広義のスマートメーターとして利用されている。ところが、自動検針の確立が早かったこともあり、通信にアナログ電話回線を利用した方式が多く、通信速度も遅いものになっている。そのため日々進化する通信インフラに対し、どのように対応していくかが自動検針の課題となっていた。

1.4 通信機器の変遷

アズビル金門では、約30年前からLPガスメーター集中監視システムを提案し、通信にアナログ電話回線を利用した方式を採用し、その後下位側通信方式に特定小電力無線を追加している。

アナログ電話回線は現在でも集中監視システムの多くで採用されている通信方式ではあるが、近年の携帯電話の普及により固定電話が減少し、通信インフラが急激に変わりつつある現状と、アナログ回線によるノージンギング通信方式が2025年にサービス終了との展望が発表されたことで、新たな通信インフラへの移行の必要性が問われている。

インターネットに接続でき「いつでも、どこでも、誰でも」つながる未来のためのユビキタスネットワークの構築は、国の政策でも進められており、国内外問わず経済成長を促し、その成長率予測(図1⁽²⁾⁽³⁾)から自動車業界や産業界へもインパクトをもたらすものとして期待されている。その実現を可能にする通信機器であるIoTデバイス数が年々増加傾向にあり(図2⁽²⁾⁽³⁾)、近年その動向が注目されている。



前述のとおり、IoTと呼ばれるインターネットに接続可能な通信機器へのニーズの高まりは、膨大かつ様々な情報をビッグデータとして集積・分析し、活用することへのニーズの高まりを示すものである。その情報収集において、新たな通信方式として注目されているのが、Low Power Wide Area (LPWA) と総称される無線で広範囲に渡り通信でき、低消費電力動作可能な機器の通信方式である。

LPWAには、主に表1のような通信方式がある。LPWAが電力メーター、ガスメーター、水道メーターなどのライフラインを支えるエネルギー管理機器用の通信方式として採用されることで、将来的には顧客ニーズに合わせた様々な情報サービス提供ができると期待されている。

表1 LPWAによる主な通信方式

通信方式	推進団体	通信速度	伝送距離
Wi-SUN™	Wi-SUN Alliance	800kbps	1km程度
LoRa WAN™	LoRa Alliance	250kbps	10km程度
SIGFOX™	仏SIGFOX	100bps	50km程度
Wi-FiHalow™	Wi-Fi Alliance	150kbps	1km程度

2. 開発品の概要

今回、来たるIoT時代の通信方式に先立ち、ガスメーターの検針データ情報、ボンベの残量管理情報、保安情報の取得などが可能で、メーター自体の外観を損なわずスマート通信機器が内蔵できるLPガスメーターの開発を行った。

2.1 現行品との比較

開発品は現行品と同様、実績のある実量式の計量膜を用いた膜式ガスメーターとした。液晶カウンタ搭載コントローラを採用して、電子式メーターと機械式メーターの良い部分を兼ね備えたハイブリッド型ガスメーターをコンセプトに開発を進め、実現に至った。図3に開発品と現行品との外観比較、表2に仕様比較を示す。

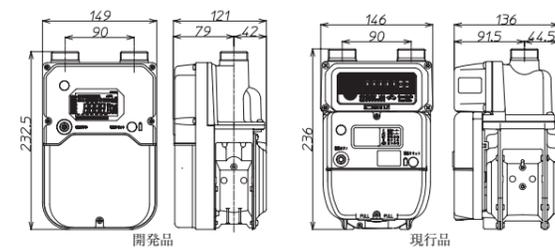


図3 外観比較

表2 仕様比較表

	開発品	現行品
高さ [mm]	232.5	236
幅 [mm]	149	146
奥行き [mm]	79	136
質量 [kg]	2.0	2.3
使用温度範囲 [°C]	-30~60	
計量体積 [L/rev]	0.5	0.7
流量検知方法	磁気センサ	リードスイッチ
耐用年数 [年]	10	

2.2 通信機器をガスメーターに内蔵

従来の通信機器はガスメーターとは別体であり、メーターボディの外側に取り付けられた構造となっている。ガスメーターのサイズに加えて通信機器を取り付ける設置スペースが新たに必要であった。

開発品は、端子台カバーの内側にあらかじめ通信機器の設置スペースを設けており、通信機器を内蔵できるため、新たな設置スペースを考慮する必要がなく、スマートな外観にすることができた(図4)。

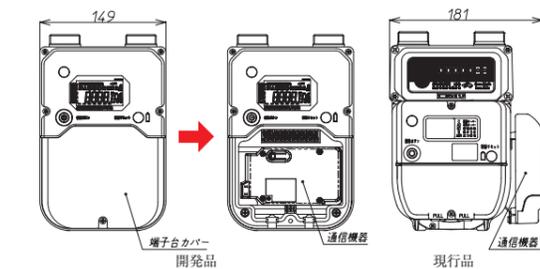


図4 外観比較

3. 製品・技術の紹介

3.1 計量部・外装の改良による小型化・高機能化

開発品は実量式の計量膜を用いた膜式ガスメーターを採用している。日本では1904年にアズビル金門が開発した乾燥式ガスメーターが起源となっており、現在でも最も普及した信頼性の高い計量方式である。

その設計思想を基に、開発品は現行品で採用されたロータリーバルブを踏襲し、さらに高分解能と小型化を実現するため、計量膜を現行品の0.7L/rev.から0.5L/rev.へと変更した。

また、これまでの機械式カウンタから液晶カウンタを採用することにより、指針値の視認性を向上させるとともに、部品点数の削減を実現した。

開発品は、通信機器を内蔵するスペースを確保しつつ、現行品単体との比較では、縦横幅はほぼ同等のサイズとしながら奥行きで15mmの小型化を実現した。現行品と通信機器を加えたスペースの比較をすると、開発品は幅で約30mmの省スペース化となった(図3、図4)。

3.2 メーター基板の開発

3.2.1 流量検知機能の改良による復帰時間の短縮

現行品では、保安機能などによりガスメーターを遮断させた場合、遮断した状態から再度ガスが使用可能となるまでの復帰時間が50秒となっており、超音波式ガスメーターの約20秒に比べ長い時間を必要としていた。そのため復帰時間を短縮して欲しいというガス事業者やガス消費者からの要望が多かった。遮断状態から復帰させるためには、21L/h以上の流れが発生していないことを確認してから復帰させる必要があるため、流量検知の分解能により復帰時間が決まってしまう。

現行品の流量検知方法は、ロータリーバルブに同期した回転部に磁石を2個配置し、メーターの1回転(0.7L)ごとにリードスイッチが4回ON/OFFすることで流量を検知していた(図5)。そのため流量検知の分解能が0.175Lとなり、21L/hの流量を検知するために部品のばらつきを考慮しない理想状態でも30秒必要であった。

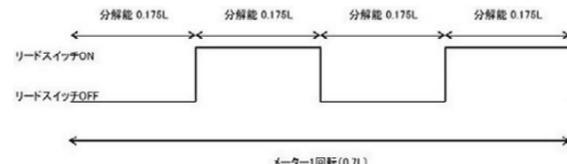


図5 現行メーター回転追従分解能

開発品では、回転部に磁石4個を90度間隔で配置し、磁気センサー2個を22.5度で配置することで、メーター1回転(0.5L)を16分割し、流量検知の分解能を0.03125Lとした(図6)。これにより、21L/hの流量の検知に要する時間を、理想状態で約5.4秒に短縮させることができた。実使用における遮断状態から復帰するまでの時間は、部品のばらつきなどを考慮し、超音波式ガスメーターと同等の約20秒まで短縮することを実現した。

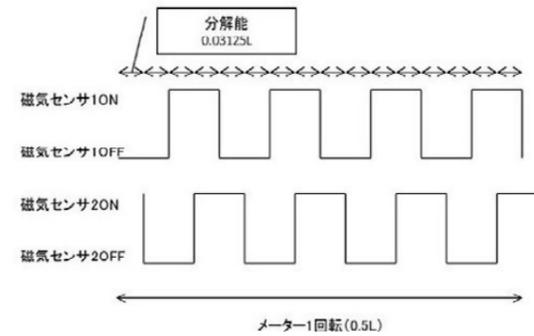


図6 開発メーター回転追従分解能

3.2.2 表示機能の改良による遮断事象の明確化

現行品は保安機能による遮断の理由をA, B, C文字の組合せにより表示していたため、一見して遮断理由を認識することが困難であった(図7)。

そのため開発品では遮断理由の表示を今までのA, B, C文字の組合せに加え、文字による表示も追加した(図7)。そうすることで、ガス事業者だけではなくガス消費者も遮断理由を容易に認識することが可能となった。また、圧力値の表示もA, B, C文字の組合せと点滅回数による表示から、数値による表示になるため一見して圧力値を認識することが可能となった。

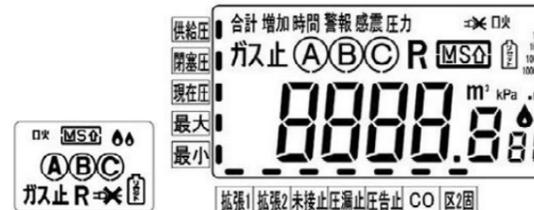


図7 現行品と開発品の表示内容比較

具体例として、ガスが過大に流れた時に発生する合計流量遮断時の液晶表示を図8に示す。開発品の表示は業界仕様で決められている「ガス止○○◎表示」の他に、「合計」の文字を表示することにより、一見して合計流量遮断が発生したことを判断することが可能となった。



図8 現行品と開発品の合計流量遮断表示比較

3.3 通信機器の開発

3.3.1 多彩な接続パターンを可能にした通信機器構成

今回開発した通信機器は、下記の3種類をラインアップした。

- ・携帯ポケット通信網に接続可能な「ゲートウェイ」
- ・開発品の通信ポートに直接接続されたメーター側の通

信端末である「子機」

- ・特定小電力無線による各機器間の中継通信を行う「中継機」

これら機器により多彩な接続構成パターンが可能となり、集合住宅や点在する戸建住宅に設置されたガスメーターを広範囲にわたりカバーすることが可能となった(図9)。

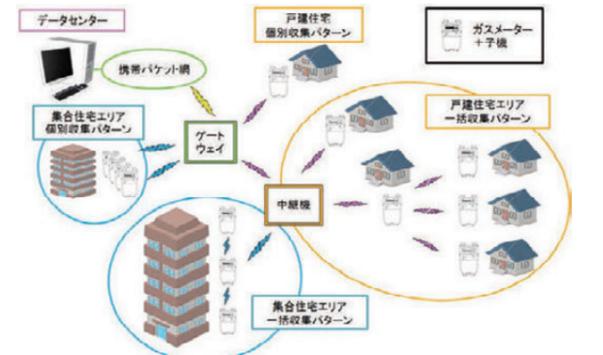


図9 接続構成パターン例

3.3.2 通信機器の特長

各機器は以下の主要機能・特長を持つ。

- ・ゲートウェイは携帯ポケット回線に接続し、Internet Protocol (IP)による通信が可能
- ・ゲートウェイと下位通信端末である中継機や子機とは免許不要な特定小電力無線通信方式を採用
- ・ゲートウェイを中心として、ツリー状に複数の下位通信端末が最大256台接続可能
- ・子機は8台までの子機と通信可能、最大ホップ段数3段
- ・各通信機器は共通で、メーター通信ポート搭載、ガス警報器などの警報接点入力ポート搭載
- ・メーター検針情報を定期的に一括収集可能
- ・交換時期の目安となるボンベ残量管理情報や、ガス遮断事象等の保安情報の随時通知が可能

メーター検針情報は、子機が設定された定期時刻に開発品と通信を行い、ゲートウェイに蓄積することで、データセンターからの一括収集が可能となった。

ゲートウェイに接続可能な機器数は、1台あたり256台(中継機と子機の合計)であり、メーターとの通信ポートは2ポートあるため、最大で512台のLPガスメーターとの通信接続が構成可能である。また、ゲートウェイが子機と直接通信するパターンだけでなく、ゲートウェイと子機との間に、8台までの中継機を接続可能である。

各機器の相互通信の無線規格は、使用者が免許不要なテレメータ・テレコントロール用の規格の1つである周波数920MHz帯を利用した特定小電力無線規格を採用し、ガス事業者の無線免許取得を不要とする利便性も確保した。さらに、通信速度が従来の無線規格(400MHz帯)よりも格段に速くなるに伴い、ソフト処理を最適化することで低消費電力動作を実現し、子機に搭載されるリチウム金属電池2本でメーター寿命に併せた10年間のメンテナンスフリーを可能にした。

各機器の仕様を表3に示す。

表3 主な各通信機器の仕様

機種	ゲートウェイ	中継機	子機
通信回線	上位:携帯パケット回線 下位:特定小電力無線	特定小電力無線	特定小電力無線
5ビット通信ポート/ 接点入力ポート/ Uバス通信ポート兼用	2	2	2
8ビット通信ポート	1	1	1
下位接続機器数	256(中8)	255	8
駆動電源	外部電源または電池パック		電池

3.3.3 無線通信性能の確認

子機は小型形状ながらも無線通信上の性能(見通し通信距離200m)を保つために基板配置, アンテナ位置, アンテナ指向性の工夫を実施した。点在する戸建てだけでなく, 電波到達に不利な集合住宅の金属製パイプシャフト内へ通信機器を設置したとしても, ゲートウェイと子機で通信可能であることが分かった(図10, 表4)。その際の現場の環境条件は, 以下の通りである。

- ・5階建てマンション, 内2~5Fが居住スペース
- ・各階渡り廊下にあるパイプシャフトの扉は金属製
- ・各階両端に位置するパイプシャフト内のガスメーターに合計6台の子機を設置(ただし, 4Fは除く)
- ・ゲートウェイを3F外階段の縦配管上部に設置

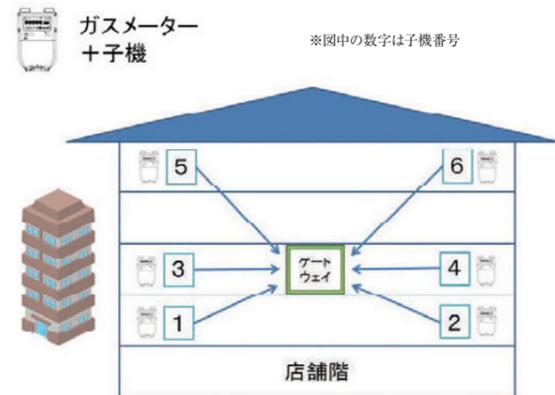


図10 評価環境(集合住宅)

表4 通信評価結果

子機番号	電波強度 [単位:dBuV/m]	安定目安
1	39	20dBuV/m 以上
2	33	
3	36	
4	43	
5	27	
6	30	
平均	34.6	

さらに厳しい通信環境に備え, 通信の迂回を可能にする中継機を構成機器に加えた。仮に, 集合住宅で通信不良が発生した場合, 図11のように中継機による通信の経路変更を可能とした。

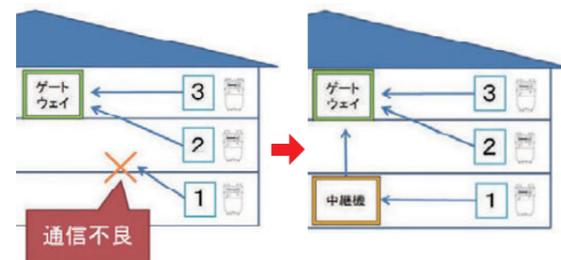


図11 中継機による通信経路変更

3.3.4 柔軟なシステム構築を可能にした通信機能拡張

現行品にも取付け可能な, 防雨構造を持つ外付け通信機器も同時に開発した。これにより新旧のメーターが混在したシステム構築が可能となった。

通信機器のインターフェースは, LPガスメーターと通信できる2つの5ビット通信ポートだけでなく, 電子式水道メーターや都市ガスメーターなどと通信可能な8ビット通信ポートも搭載した。5ビット通信ポートは設定により接点入力ポートやUバス通信ポートとして使用が可能である。各種メーターと通信できる複数インターフェースを備えているため, 仮に設置後で現場顧客ニーズに変化があっても, 追加したいエネルギー管理機器から配線を行うだけで対応でき, 柔軟にシステムを再構築することも可能となった。

4. おわりに

ガスメーターのIoT化により, ガス事業者は詳細なガス使用量のデータを蓄積することができ, ガス消費者に対して様々な料金プランの提案が可能になる。また, 電気, ガス, 水道の使用状況を一括して監視することで, 一人暮らしの高齢者の見守りサービスも現在より充実したものとなり, 今後の超高齢化社会への対応も可能となる。

通信距離の延長, 通信容量の拡大, スマートフォンの活用等といった機能拡張と同時に, 今後も刻々と進化するであろう通信インフラおよびIoTに対応したガスメーター開発を継続的に行っていく。

<参考文献>

- (1) 日本ガスメーター工業会:スマートメーター動向調査報告書, 2010, pp.14~16
- (2) 総務省:平成28年度情報通信白書(第2章, 第1節), 2016, p.8
- (3) IHS Technology

<商標>

Wi-SUNはWi-SUN Allianceの商標です。
LoRaWANの名称はSemtech Corporationの商標です。
SIGFOXの名称は製品名および会社名で商標です。
Wi-Fi HaLowはWi-Fi Allianceの商標です。

<著者所属>

- 湖東 裕治 アズビル金門株式会社
開発本部製品開発部
石倉 伸吾 アズビル金門株式会社
開発本部製品開発部
鈴木 智恭 アズビル金門株式会社
開発本部製品開発部

プラントの安全・安心操業に貢献する バルブ解析診断サービス

Valve Analysis and Diagnosis Services for Increased Safety of Plant Operations

アズビル株式会社
ITソリューション本部

石原 亨
Toru Ishihara

アズビル株式会社
ITソリューション本部

青田 直之
Naoyuki Aota

アズビル株式会社
サービス本部

山崎 史明
Fumiaki Yamasaki

キーワード

バルブ, メンテナンス, 診断, 状態基準保全, 検証, IoT, ビッグデータ, 予知保全

プラントを操業している顧客の中には、バルブの状態を把握するために大量のデータを保持しているが、そのデータは必ずしも有効に活用できていない状況がある。アズビルではこのような課題を解決するために、バルブ解析診断サービスを提供している。このサービスでは、これまでバルブメンテナンスのエキスパートが獲得してきた知見に基づき、大量のデータを効率的に解析して、解析診断結果を分かりやすく報告することで、顧客が生産設備を安全で安定的に操業することに貢献している。

Although plant operators may possess a vast amount of data in order to understand the state of their valves, the data is not always utilized effectively. To address this problem, Azbil Corporation provides valve analysis diagnosis services. These services, which are based on expert knowledge gained through valve maintenance, contribute to safe plant operations by enabling the effective analysis of a vast amount of data and by reporting the results in a comprehensible way.

1. はじめに

製造現場で使用されているバルブは、プロセスにおける影響度に合わせて重要度がランク分けされている。重要度が高いバルブでトラブルが発生すると設備停止を招くだけでなく、場合によっては災害へ繋がる危険性を持ち併せている。

設備を安定稼働させるためにはバルブが正常な状態で稼働し続ける必要がある。それは、設備を預かる生産部門の課題でもあるが、バルブの性能を保持しつづけるメンテナンスを司る保全部門にもいえ、共通の課題である。

いかに効率的にバルブを安定稼働させていくかが問われている。

このような課題に対してバルブ・ポジションメーカーは、バルブ診断技術を搭載したスマートポジションを販売している。スマートポジションはデジタル通信(HART通信, FOUNDATION Fieldbus通信など)を使って診断データを提供できる機能を持つ。また、診断データを収集するシステムの販売も各ベンダから行われている。

一方顧客の側では、上記のようなバルブ診断技術を使って試行錯誤しながら、時間基準保全(Time Based Maintenance)から状態基準保全(Condition Based

Maintenance)へ移行させていく動きがある⁽¹⁾。

バルブの状態基準保全を実現するために大量のデータを保持している顧客もあるが、そのデータをどのように活用しているのか困惑している現状がある。バルブの使用環境など様々な診断上の情報を複合的に見極めることが重要であるが、顧客にとってはこの大量のデータから診断情報を読み取ることが難しいからである⁽²⁾⁽³⁾。

アズビルのバルブ解析診断サービスでは、バルブメンテナンスのエキスパートが獲得してきた知見に基づき、大量のデータを効率的に解析して、解析診断結果を分かりやすく報告する。

本稿ではバルブ解析診断サービスの内容と、顧客に提供する価値について報告する。2章ではアズビルのバルブ診断技術について、3章ではバルブ診断技術を応用したバルブ解析診断サービスについて、4章ではアズビルのバルブ解析診断の今後の展望について述べる。

2. アズビルのバルブ診断技術

当社では以前より、バルブ診断関連の技術開発や商品開発に力を入れてきている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

具体的には、スマート・バルブ・ポジション上で診断指標を算出する機能や、指標値を活用するための上位システムの開発などが挙げられる。

顧客のプラントにおける状態基準保全の実現のためには、バルブの状態を判断するための多くの指標や、それらを基に次回定修時に開放点検が必要なバルブの絞り込みを行うための技術開発が重要と考えているからである。

また、これらが有機的に連携してバルブ診断を行えるよう、ポジションとシステム相互に要求事項を交換しながら開発を進めている。また後述するとおり、顧客だけで診断データを活用することが難しい場合に、当社のバルブ専門家による診断を行うサービスの開発なども並行して進めている。

本章では、バルブ解析診断サービスに先立ち、当社が開発したバルブ診断技術を具体的に紹介する。2.1ではスマート・バルブ・ポジションによる診断指標について、2.2では上位システムであるバルブメンテナンスサポートシステムについて述べる。

2.1 スマート・バルブ・ポジション

本節では、診断機能を搭載した当社のスマート・バルブ・ポジションである、300シリーズおよび、2014年より販売を開始した700シリーズについて述べる。

どちらのポジションにもオンライン診断(運転中の診断)とオフライン診断(主に運転停止中に、バルブをアクティブに動作させて行うテスト)の機能を搭載している。オフライン診断でバルブの異常を検出できるのはある意味当然と考え、当社ではオンライン診断の充実を図っている。

特に700シリーズでは、新たに空気圧センサを搭載したことにより、摩擦異常や空気回路異常などの検出を行えるようになり、よりバルブの状態を把握できるようになった。

以下、特長的なオンライン診断アルゴリズムについて説明を行う。

(1)スティックスリップ

スティックスリップ指標は、バルブのグラント部、プラグシート部などで発生する固着・かじり現象の予兆となるスティックスリップ動作を定量的に捉えるための指標である。

スティックスリップ動作が発生すると、滑り動作と付着動作により弁軸速度の分布が正常時とは大きく異なる。そこで、弁軸速度の大きさの平均の2乗(X)と2乗平均(Y)の比Y/Xを監視することで、弁軸速度の分布が変化したことを捉えることができる。

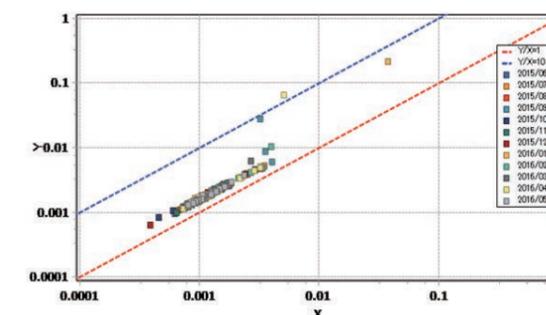


図1 スティックスリップ指標

(2)開度別頻度分布

開度別頻度分布は、バルブが稼働していた開度の頻度を開度別に比率で表示したものである。調節弁の場合には、流体条件や配管条件から常用開度をおよそ60~70%になるようにバルブの選定を行う。開度別頻度分布を見ることでサイジングが適切に行われたかの確認ができる。

また、常用開度の変化を時系列で捉えることでプロセス制御としての変化や、配管やバルブの詰まりといった異常を早期に発見することができる。

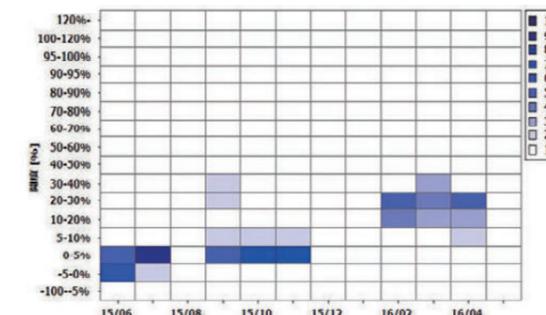


図2 開度別頻度分布

(3)出力空気圧妥当性/最大摩擦力モニタリング

700シリーズでは新たに圧力センサを搭載したことで、バルブシグネチャ検査と呼ばれるオフライン診断を実行できるようになった。バルブシグネチャ検査では、ポジションの入力信号をランプ状に全閉⇄全開させ、その時のポジション出力空気圧と開度の関係から診断を行うものである。

出力空気圧妥当性/最大摩擦力モニタリングでは、オンライン時にバルブシグネチャ検査と同様に、ポジション出力空気圧と開度のデータを取得する。

本指標値をモニタリングすることにより、弁軸摩擦の変化、操作器スプリング倒れ、閉め切り(あるいは開け切り)不良を検出することができる。

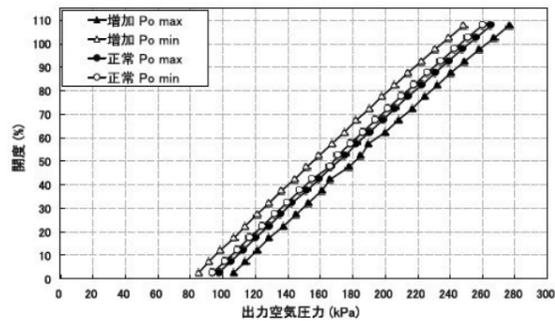


図3 出力空気圧妥当性/最大摩擦力

2.2 PLUG-IN Valstaff

近年、HARTやFOUNDATION Fieldbusといったデジタル通信の普及により機器管理システムでフィールド機器の管理を行うことができるようになってきた。

一方、バルブ診断のように機器に特化した機能は汎用的な機器管理システムだけでカバーすることは難しく、連携するアプリケーションや機器管理システムへのプラグインとして提供されることが多い。

PLUG-IN Valstaff (以下、PVS)は、当社製デバイス・マネジメント・システムInnovativeField Organizer™ または横河電機株式会社製 統合機器管理パッケージPRM (Plant Resource Manager)上で動作する、バルブ・メンテナンス・サポートシステムである。PVSでは、300/700シリーズの診断機能を活かした、オンライン診断とオフライン診断の機能を提供している。

(1) オンライン診断

バルブの開度指示値や実弁開度、あるいは300/700シリーズが算出するオンライン診断指標値を定期的に収集・蓄積し、画面でのグラフ表示でバルブの状態を確認することができる。

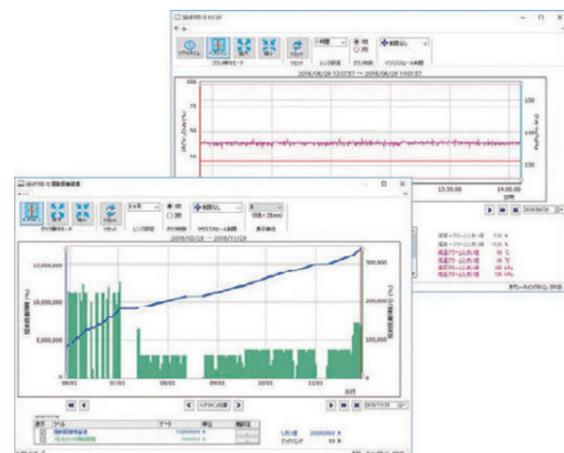


図4 オンライン診断画面

(2) オフライン診断(テスト機能)

ステップ応答テスト、バルブシグネチャ、パーシャルストロークテスト、フルストロークテストの実行と結果の表示を行うことができる。

(3) レポート出力

オンライン診断やテスト結果をレポートして出力することができる。このレポートを見ることで、定修時にメンテナンスすべきバルブを特定するための情報を得ることができる。

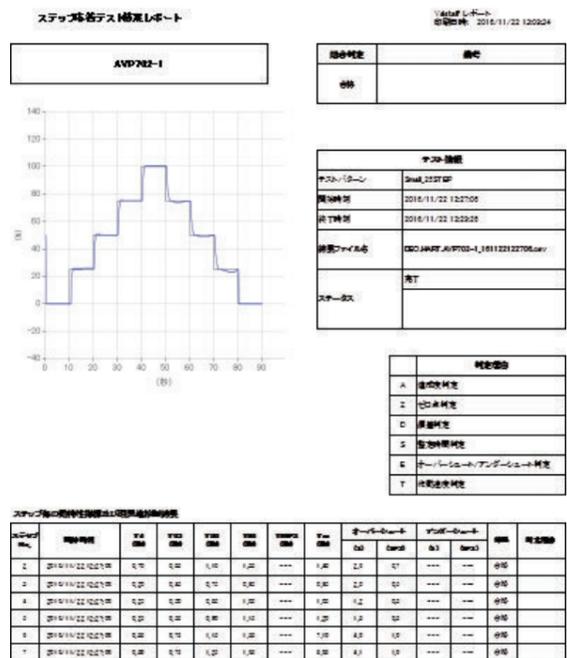


図5 レポートの一例(イメージ)

3. バルブ解析診断サービス

バルブ解析診断サービスでは、診断データの収集から解析診断・比較検証そして次へのアクションに至る一貫したバルブに対するPDCAサイクルを顧客とともに築き上げていくサービスとして提供をしている。

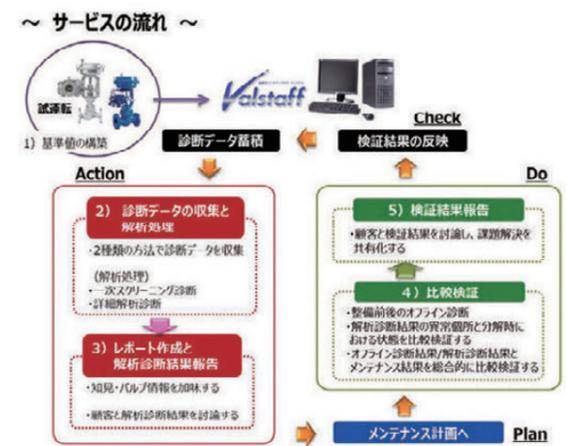


図6 バルブに対するPDCAサイクル

本章では、バルブ解析診断サービスを具体的に紹介する。3.1ではデータに基づくバルブ解析診断サービスの進め方について、3.2ではPVSで蓄えられた大量データを収集する方法について、3.3では大量データから処理されたバルブ解析診断レポートについて、3.4では大量データを短時間で効率よく実施可能にした解析診断ツールについて述べる。

3.1 サービスの流れ

本節ではバルブ解析診断サービスにおける代表的な流れについて記述する。

(1) 基準値の構築

バルブ解析診断は、基準となる値からの異常傾向データを活用しているため、基準となる値をバルブ試運転時に適切に決めることがもっとも重要である。基準値が適正に定められていない状態ではポジションから出力されている診断データの信憑性が損なわれてしまう。

(2) 診断データの収集と解析処理

PVSに蓄積されたデータを2とりの方法(「3.2 データ収集」参照)で収集した後、当社で開発したソフトウェア(「3.4 解析診断ツール」参照)で処理することで、初期の解析作業を効率的に実施する。

(3) レポート作成と解析診断結果報告

初期の解析処理を実施した後に、メンテナンスの知見や顧客から提供されたバルブ固有の情報などを踏まえてレポートを作成する。レポートには、1次スクリーニング診断、詳細解析診断の2種類がある(「3.3 レポート作成」)。

このレポートを基に、顧客と解析診断結果を討論する。このとき顧客に対して、保全部門と生産・製造部門、アズビルの3者で討論を行うことを推奨している。関係部門と一緒に討論することで、解析診断結果の判定がバルブによる事象なのか、制御による事象なのかを効率的に把握できる。また、保全部門と生産・製造部門の共有課題として認識することが可能となり、課題解決へのアクションが効果的に行える。さらに討論の中で、装置稼働状況やバルブの重要性を加味してメンテナンス対象を決定できる。

(4) 比較検証

解析診断結果と実際の分解状態を比較検証するエキスパートメンテナンスを提供する。

(5) 検証結果報告

本サービスでは、検証結果と解析診断結果とを比較した検証報告書の提供も行っている。解析診断結果報告と同様に顧客の保全部門と生産・製造部門、アズビルの3者で討論を行うことで、さらなる課題を発掘する。

バルブ解析診断サービスにおいて、前述の比較検証を実施することにより、バルブ固有特性を把握することが可能となる。さらに比較検証を繰り返すことで、より精度の高い情報を提供できるようになる。

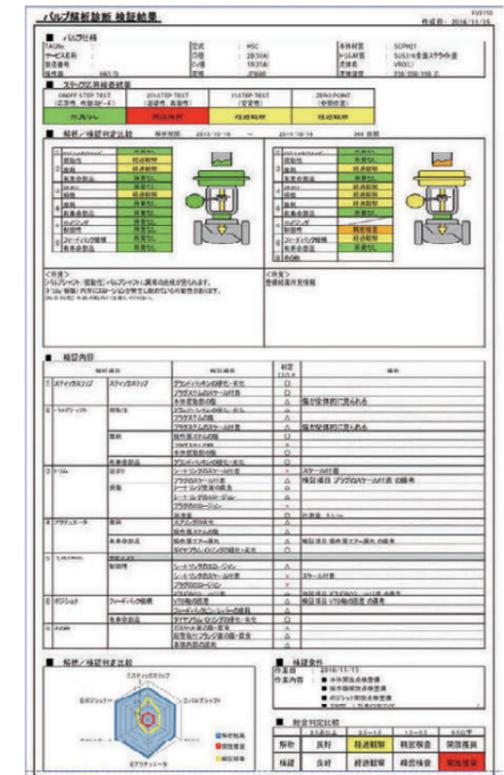


図7 検証報告書(イメージ)

3.2 データ収集

診断指標値データ量はポジション接続台数が増えるのに比例して大きくなってしまふ。当社では必要に応じて異なる2つの方法でデータ収集を行う。

以下、2種類のデータ収集について述べる。

(1) 顧客事業所訪問でのデータ収集

当社では顧客に密着したサービス拠点を展開しており、専門サービス員が、コミュニケーションを目的として顧客事業所を訪問する。このときにPVSの稼働状況や、システム上のバルブの異常検出有無をヒアリングするとともに、一定期間のPVSのデータをまとめて収集する。

(2) リモートからのデータ収集

タイムリーにバルブの異常を把握することを目的として、顧客のプラントに設置されたPVSとアズビルのリモートセンターをVPNで接続し、定期的にデータを収集する。

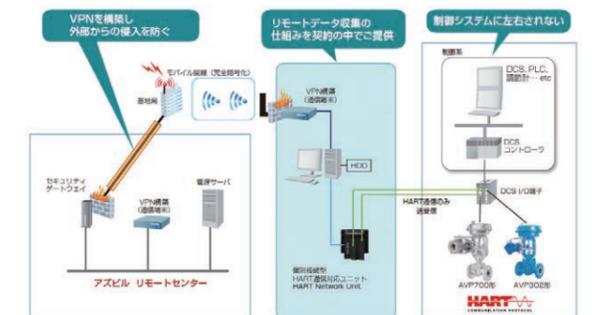


図8 リモート収集の仕組み

これにより、細かいサンプリング周期で収集した大量のデータを自動でリモートセンターに転送することができ、短い間隔で解析診断の実施が可能である。その結果、バルブの異常を早期に気付くことができ、顧客の生産設備のより一層安全で安定した操業を支援する。

3.3 レポート作成

バルブ解析診断のレポートは大きく分けて2種類ある。以下に詳細を説明する。

(1) 1次スクリーニング診断

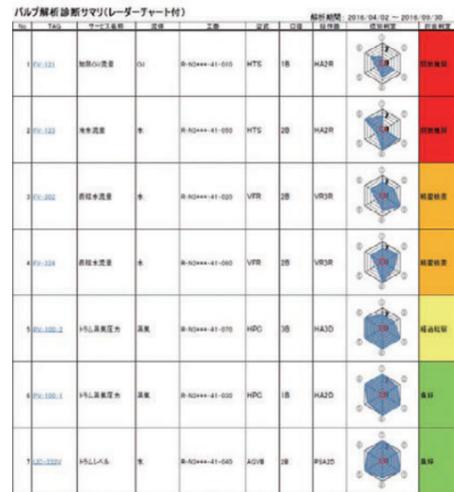


図9 1次スクリーニング診断結果(イメージ)

解析診断対象のバルブが大量にある場合においても、短期間で効率的に解析診断結果を顧客へ提供可能にする目的で、1次スクリーニング診断結果を提供する。解析診断結果はリスト形式で出力され、この中で項目ごとのレーダーチャートとともに総合判定結果を表示する。

レーダーチャートでは良い状態を3点として①スティックスリップ②バルブシャフト③トリム④アクチュエータ⑤コントロール⑥ポジションの状態を把握できる。

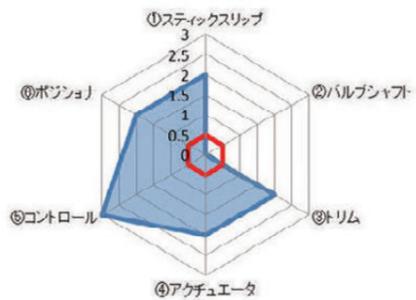


図10 レーダーチャート

総合判定は、4段階(開放推奨, 精密検査, 経過観察, 良好)でバルブの良否を表示する。

(2) 詳細解析診断

生産設備におけるバルブの重要性と、1次スクリーニング診断結果を照らし合わせて、さらに深く調べるバルブを絞り込み、より詳細な解析を行う。

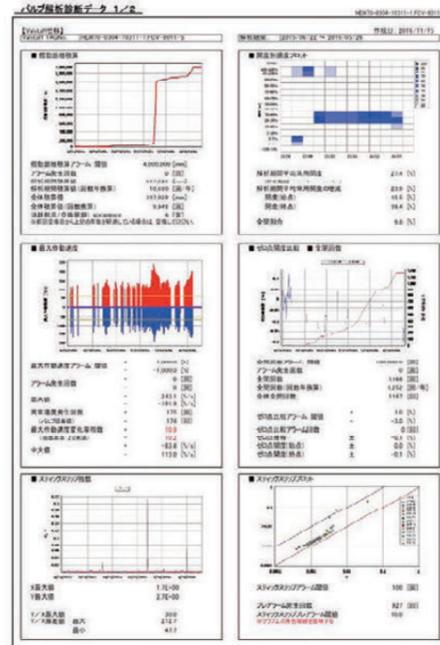


図11 詳細解析診断結果(イメージ)

PVSで保持している診断指標値をグラフ化させて時系列による状態傾向を表示するとともに、独自の診断アルゴリズムによって各部位の異常を個別に判定し、詳細なバルブの状態を可視化して、解析診断結果レポートとして提供する。

項目	状態
①スティックスリップ	経過観察
②バルブシャフト	精密検査
③トリム	開放推奨
④アクチュエータ	経過観察
⑤コントロール	経過観察
⑥ポジション	経過観察
有寿命部品	経過観察
③詰まり	経過観察
④摩耗	経過観察
⑤サイジング	所見なし
制御性	所見なし
⑥フィードバック機構	経過観察
有寿命部品	所見なし

図12 個別判定結果

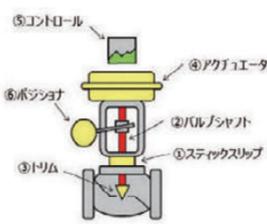


図13 バルブイメージ

解析診断結果レポートの中では、バルブイメージの色を判定結果に応じて4段階で表示することによって、顧客にも理解しやすいように工夫している。

詳細解析診断では、過去4回分の履歴(今回の解析診断結果を含む)を表示しているため、過去の解析時点からの推移も1つのレポートで確認することができるようになっている。

3.4 解析診断ツール

バルブ解析診断サービスを短期間で効率よく実施可能にするために、当社では独自に開発した解析診断ツールを活用している。

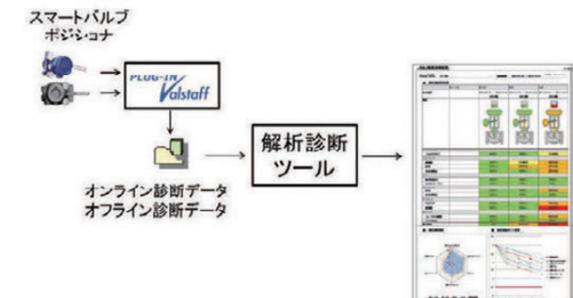


図14 解析診断ツール

従来は、PVSのデータ解析作業にはグラフ作成などの人手がかかっていたため、長期間のデータの解析は困難で、解析可能なバルブ台数も限られていた。また、解析作業は経験豊富なエキスパートしか行えず、ノウハウの継承が課題であった。

解析診断ツールでは、人手で行っていた作業を極限まで自動化するロジックの作りこみを行ったことにより、高速化と効率化を実現している。また、非エキスパートでも解析作業が行えるよう、人が判断していた部分をアルゴリズム化して搭載することで、判断の自動化と均質な解析が可能となった。

このような解析診断ツールに加えて、顧客事業所への訪問によるデータ収集のためのツールも活用している。この方式でのデータ収集では、顧客事業所からまとめて収集した数GB～数十GBのPVSのバックアップデータ(オンライン診断データ、オフライン診断データ)を、アズビルの営業所からリモートセンターに短時間で転送する必要がある。そのためこのツールでは、PVSのデータ形式に最適な方式でデータを圧縮し、リモートセンターに転送した後、センター側で展開することによって、解析診断ツールですぐに解析が実行できるようになる。



図15 データ転送ツール

また、解析業務によってはオンライン診断データのみの解析や、オフライン診断データのみの解析があるため、それぞれに対して必要なデータだけを転送することによってデータ転送時間を短縮化できる。

4. 今後の展望

バルブ解析診断サービスを発展させて、(1)メンテナンス計画の最適化による高いコスト削減効果の実現、(2)バルブ解析診断のリアルタイム性の向上という顧客価値を提供していきたい。

(1)のメンテナンス計画の最適化のためには、バルブの余寿命予測が効果的と考えている。バルブ解析診断サービスを繰り返すことで解析診断結果を蓄積させ、そこで得られた多彩な使用環境の情報を比較・分析する。例えば、特定条件下で使用されているバルブの状態を把握することで、メンテナンスが必要な時期までの余寿命予測が可能となると考えている。

このような取組みを通じて、バルブ解析診断の精度を継続的に向上させ、知見の反映と継承を続けるメンテナンスサイクルの支援を実現していきたい。

(2)のリアルタイム性向上のためには、顧客の担当者がクラウド形式で任意のタイミングでバルブ解析診断の結果を確認できるようにすることを検討している。これにより、顧客は常に高度なバルブ解析診断を受けることができ、突発的な運転停止のリスク回避等が可能になる。



図16 クラウド形式でのバルブ解析診断

5. おわりに

本稿では、これまでバルブメンテナンスのエキスパートが獲得してきた知見に基づき、大量のデータの解析診断を効率的に行い、メンテナンス検証以降のアクションまで一貫して行うバルブ解析診断サービスに関して報告した。

バルブメンテナンスに関わる一連のPDCAを顧客と一体となって実施していくことで、バルブ異常の兆候の早期発見などの顧客価値を生み出し、プラントの操業の安全・安心に貢献していきたい。

<参考文献>

- (1) ローランド・ベルガー:「Think Act」2015年6月号 特集「次世代メンテナンスのあり方」
- (2) 一般社団法人 電子情報技術産業協会 2011年度 制御・エネルギー管理専門委員会予知保全WG編:予知保

全技術に関する調査報告書(2012年1月)

- (3) 経済産業省産業構造審議会 保安分科会高圧ガス小委員会:第10回配布資料 資料5「高圧ガス保安のスマート化の検討について(案)」(2016年3月)
- (4) 福田ほか:安全・安心操業を実現するバルブ・ポジション, Azbil Technical Review, 2014, 2014年4月発行号, pp.54-61
- (5) 飯田ほか:状態基準保全を支援する調節弁診断アプリケーションの開発, Azbil Technical Review, 2015, 2015年4月発行号, pp.3-10

<商標>

PRMは、横河電機株式会社の商標です。

HARTは、HART Communication Foundationの商標です。

FOUNDATIONは、Fieldbus Foundationの商標です。Valstaff, InnovativeField Organizerは、アズビル株式会社の商標です。

<著者所属>

- 石原 亨 ITソリューション本部ITソリューション開発部
- 青田 直之 ITソリューション本部ITソリューション開発部
- 山崎 史明 サービス本部サービス技術2部

ビル管理業務の効率化に貢献するビル向けクラウドサービスの開発

—設備オペレータにベストプラクティスを提供する設備保全管理機能

Cloud Computing Services for Building Management: Providing Best Practices for Facilities Management

アズビル株式会社 ITソリューション本部	高橋 哲也 Tetsuya Takahashi	アズビル株式会社 ITソリューション本部	関根 摩耶 Maya Sekine
アズビル株式会社 ITソリューション本部	潮田 尚史 Naofumi Ushioda	アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	森 達也 Tatsuya Mori
アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	森山 真一郎 Shinichiro Moriyama	アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	伊藤 伸樹 Nobuki Ito

キーワード
クラウドサービス, 設備保全管理, ベストプラクティス

ビルの管理業務を支援する、「ビル向けクラウドサービス」のメニューの1つとして、設備保全管理機能を開発し、サービス提供を開始した。本機能は、ビルの各種設備を管理する設備オペレータの日常業務を支援することを目的とし、「Share Best Practices」という開発コンセプトの実現に向けて機能を設計した。本稿では、日々蓄積される多種多様で膨大な履歴を活用して日常業務を支援する機能や、計画立案を支援する機能を中心に紹介する。

In support of building management operations, Azbil Corporation has developed functions for facilities management as part of its Cloud Services for Buildings. The main purpose of these functions is to assist building facility operators with their daily duties by realizing the concept of “sharing best practices.” In this document, we focus on functions that assist operators with their daily duties using the diverse and enormous amount of data gathered daily, and on functions that offer assistance for long-term repair planning.

1. はじめに

少子高齢化に伴う長期的な不動産需要の減少懸念や、官公庁物件の入札化、民間物件の不動産証券化の流れが顕在化してきた。ビルの設備保全管理業務は、より一層の効率化を達成しつつ、ビルの居住者に対して快適な居住空間の提供などのサービス品質のさらなる向上が求められている。

また、ビルの寿命は一般的に30年から50年、あるいは、海外では100年超とも言われるほど長期間であり、ビルが建て替えられるまで継続した管理が必要となる。

しかし、このように長期にわたっての管理となるため、途中で熟練者が退職したり、場合によっては設備管理会社ごとに入れ替わることも珍しくない。その際にうまく業務の引き継ぎが行われないと今まで蓄積してきた知見やノウハウが引き継がれず、サービス品質の低下を招く恐れがある。

一方で、情報通信技術の発達や通信インフラの整備により、インターネット経由でアプリケーションやデータを利用者に提供するクラウドサービスが急速に普及してきている。

このような状況の中で、蓄積された膨大な履歴を活用して設備オペレータの日常業務や計画立案業務を支援する設備保全管理(BM)を開発しサービス提供を開始した。

本稿では、ビル向けクラウドサービスの設備保全管理(BM)について紹介する。

2. 概要

2.1 ビル向けクラウドサービス

ビル向けクラウドサービスは、ビルオーナーや設備オペレータ、居住者などビルに関わる様々な利害関係者に対してインターネットを経由してサービスを提供する。本稿で紹介する設備保全管理(BM)だけでなく、エネルギー管理(EM)、テナントサービス(TS)、最適運用(OP)などのサービスメニューを用意しており、顧客は必要なメニューを組み合わせて利用することができる。

クラウドサービスというシステム形態のメリットとしては一般的に利便性の向上やコスト削減などが挙げられる。設備保全管理業務では、設備オペレータがあらゆる場所で作業結果を記録でき、ビルオーナーが必要な時に管理状況を確認できるシステムが求められる。クラウドによってサービスを提供することで利用者は場所や端末、時間帯を問わず利用することができる。

表1 サービスメニュー一覧

サービスメニュー	提供価値	主要機能	主要ユーザー
EM エネルギー管理	省エネルギー化	・消費傾向分析 ・総量目標管理 ・需要予測 ・サインオフ	プロパティマネージャ (ビルオーナー会社)
TS テナントサービス	快適性 利便性	・照明/機器発停 ・空調設定 ・申告空調制御	居住者(テナント)
BM 設備保全管理	LCC低減	・設備保全管理 ・中長期保全計画 ・点検支援	設備オペレータ (ビル管理会社)
OP 最適運用	省エネルギー/省CO ₂ 省コスト	・最適運転ガイド ・COP管理 ・CO ₂ リポート制御 ・予測型VWT制御	設備オペレータ (ビル管理会社)
DR ディメンタルシステム	電力需給連携	・DR管理機能 ・節電制御	-

2.2 開発コンセプト

次に、設備保全管理(BM)の開発コンセプト“Share Best Practices”について紹介する。

設備オペレータに日常業務の「ベストプラクティス」を提供することを開発コンセプトとして立案した。ベストプラクティスとは、ある結果を得るのに最も効率のよい技法、手法、プロセス、活動のことでサービス品質の向上に寄与するものであることを含んでいる。例えば日常業務を行う際に、蓄積した作業履歴から類似事例を抽出し作業内容や注意事項などを提示することで、より効率的で質の高い手順の立案を支援できると考えている。詳細については3章以降で紹介する。

2.3 機能概要

ビルの設備保全管理業務は、電気設備や空調設備など各種設備の運転監視や、定期点検、修繕などを行い、設備の機能維持を図っている。また、突発的な設備のトラブル対応や居住者からのクレーム対応、ビルオーナーへの報告業務も含まれ、さらに、設備の性能を確認し設備更新計画や省エネルギー計画などを立案することも業務に含まれる場合もある。

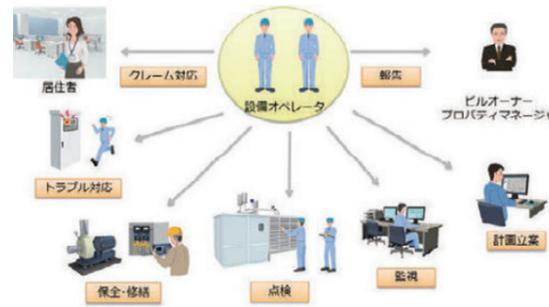


図1 設備管理業務

このような多岐にわたる業務をサポートするために、設備保全管理(BM)では多くの機能を実装している。

図2のように、まず、日常業務をサポートする機能として業務の流れに沿って、「計画」・「実施」・「報告」・「照会」に分類しそれぞれのフェーズで必要となる機能を実装した。また、基本となる台帳類を管理する機能や、蓄積したデータを活用して計画を立案したり、集計・分析する機能も実装した。例えば、集計・分析機能に含まれる稼働実績管理は、設備の運転時間や投入回数をカウントする機能であり、警報データ管理は、設備の故障情報や異常情報を収集・蓄積する機能である。これらの機能で分析した結果は設備の修繕計画や、改修計画に役立てられる。これは、様々なモノをネットワークにつなぎ、そこで得られたデータを活用することで課題解決や新たな価値創出を実現する“IoT (Internet of Things)”の概念に沿ったものであり、今後、さらに発展していく領域であると捉えている。

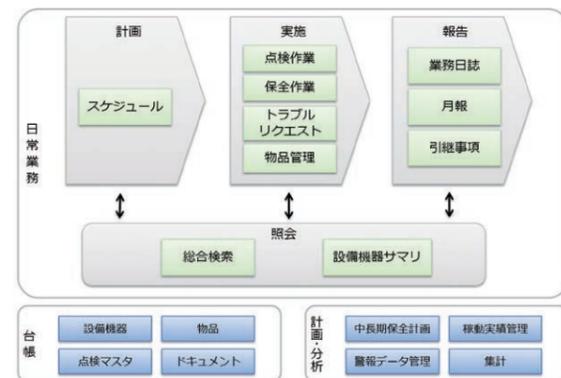


図2 機能の全体像と枠組み

3. 日常業務の支援機能

設備オペレータの日常業務をタイムリーに把握できるダッシュボード画面と、機能を横断して一括で蓄積情報を検索

できる総合検索機能、そして現場に即した対策立案を支援するアシスト機能を紹介する。最後に日常業務におけるベストプラクティスの提供事例を示す。

3.1 ダッシュボード

本システムにログインして最初に表示されるのが図3のダッシュボード画面である。設備オペレータは、業務開始前に今日の作業内容や対応すべき項目などを把握する。この作業を効率良く完了できるようにダッシュボード画面には業務の概況を直観的に把握できるデザインを採用した。当画面では作業件数や進捗状況などの日常業務に関する情報をタイル形式で表示させている。具体的な表示項目については表2に整理した。また図4、図5に代表的なタイル表示の例を示す。



図3 ダッシュボード画面

表2 タイルごとの表示項目

番号	タイル名称	表示内容
①	今日の作業	本日実施する作業の進捗状況と、作業残件数(図4を参照)
②	未完了作業	本日までの未完了作業件数(図4を参照)
③	受付済	本日受付登録されたトラブル&リクエスト履歴件数
④	進捗状況	進捗状況が「未処置」と「対応中」であるトラブル&リクエスト作業件数
⑤	今日の引継事項	表示期間内にある引継事項件数
⑥	昨日の業務日誌	昨日の業務日誌の作成状況
⑦	要発注物品	在庫下限値以下となり、発注が必要となった物品数
⑧	しきい値超過	稼働実績の値が、監視値または警告値を超過した設備機器台数
⑨	天気予報	3時間ごとの建物所在地周辺の天気
⑩	スケジュール	作業スケジュールのガントチャート(図5を参照)



図4 ①「今日の作業」タイルと②「未完了作業」タイル



図5 ⑩「スケジュール」タイル

実施した作業や発生したトラブルなどを登録すると、即時にダッシュボードに反映されるため、タイムリーな作業状況の把握ができるとともに、設備オペレータ間の情報の共有にも有効である。また、詳細な情報を確認したい場合はタイルをクリックすれば詳細情報画面に遷移できる。

3.2 総合検索

設備オペレータが一定の品質を保って日常業務を行うためには、関連する履歴情報を確認することが欠かせない。総合検索機能では必要な情報を容易に検索できるように複数機能を横断した検索や、複数キーワード検索、ドキュメント内検索などの検索ができる。以下のような場合に当機能は有効である。

- ◆ 特定の設備機器に関する事象をまとめて確認したい
- ◆ 備考欄などに入力した参考情報が、どこに登録されているか分からない
- ◆ 過去に作成した報告書などのドキュメントから特定の事象に関する情報を得たい

図6の検索条件入力画面では、複数のキーワードと検索対象とする機能を選択できる。図7は、検索結果の表示画面である。



図6 総合検索 検索条件



図7 総合検索 検索結果

3.3 アシスト機能

作業管理を行う点検作業、保全作業、トラブル&リクエスト管理の各画面には、メインエリア(図8 ①)の横にアシ

ストエリア(図8②)を設けている。以下にアシストエリアに表示する3つの事例を示す。

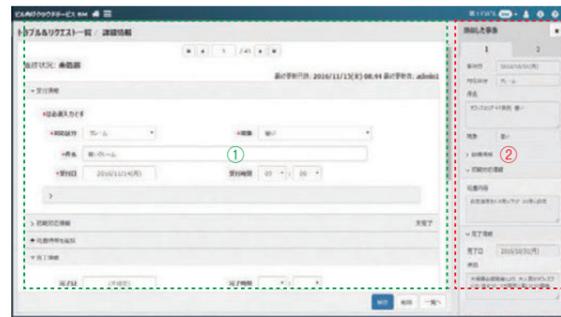


図8 アシスト機能あり画面

(1) 前回点検結果の表示

点検作業の結果を登録する際はアシストエリアに前回と前々回の点検結果を表示させている。これにより、時系列的な傾向の把握や、点検時の留意点の確認などに活用することができる。

(2) 類似事例の表示

保全作業やトラブル&リクエスト管理の情報を登録する際はアシストエリアに当該作業と類似した事例を2件表示させている。これにより、対応策に迷いが生じ、類似事例から最善策を検討したい場合などに活用することができる。



図9 類似事例の表示

(3) 入力項目の説明文表示

図10に示すトラブル&リクエスト管理の新規登録画面ではアシストエリアに入力項目の選択肢を表示し、選択肢にカーソルを当てると、その説明文を表示させている。これにより、入力者による選択のばらつきを低減させることを狙っている。



図10 選択肢説明文の表示

3.4 日常業務のベストプラクティス

ダッシュボード、総合検索、アシスト機能を活用したベストプラクティスの提供事例として、トラブルの対策決定に至るまでのシナリオを示す。



図11 トラブル対策決定のシナリオ

①～④で示したとおり、支援機能を活用することで対応すべき作業の把握や、過去の事例、関連情報の参照が容易にでき、現場に即した対策を効率的に立案することができる。

4. 計画立案業務の支援機能

蓄積した情報を活用することで、将来の管理品質を向上させる中長期保全計画機能と設備機器サマリ機能について紹介する。

4.1 中長期保全計画

中長期保全計画では、設備機器台帳に登録された保全項目情報および、保全作業の実績から、保全計画を効率的に作成することを支援する。



図12 保全計画の作成フロー

4.1.1 保全計画の閲覧

中長期表示画面、単年度表示画面、費用表示画面があり、それぞれ目的に応じた保全計画の閲覧ができる。

(1) 中長期表示

10年分の保全計画および保全作業を俯瞰することができるので、中長期的な保全計画の立案に活用できる。

図13 中長期表示画面

(2) 単年度表示

年度の保全計画および保全作業を確認することができるので、当年度に実施すべき保全作業の進捗を管理できる。

図14 単年度表示画面

(3) 費用表示

設備区分単位または管理区分単位で各年度の保全費用を集計し、グラフ形式、表形式で表示する。保全費用の将来見込みが把握しやすいので、予算検討の判断材料として活用できる。

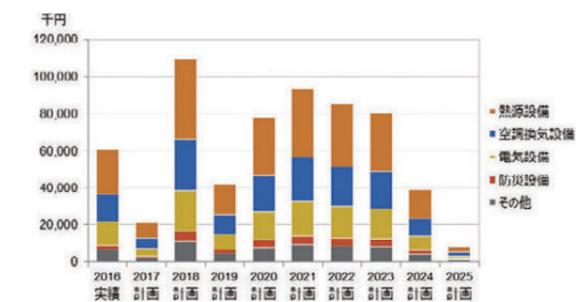


図15 費用表示画面

4.1.2 保全計画の編集

平準化画面では、保全計画の先送りや前倒しを効率的に行うことができる。例えば、熱源設備機器の更新などで大きな投資が見込まれる年度では、予算を調整するために、その他の保全計画を一括で翌年や前年に変更し、年度間の金額を平準化できる。

図16 平準化画面

4.2 設備機器サマリ

設備機器サマリ機能では、点検作業、保全作業、トラブル&リクエスト管理、稼働実績に登録された情報を、設備機器ごとに集約して表示することで、ビルオーナーや設備オペレータの合理的かつ効率的な意思決定を支援する。

4.2.1 作業履歴の確認

作業履歴表示では、点検作業、保全作業、トラブル&リクエスト管理の作業履歴を一覧にまとめて表示させている。機能を横断し設備機器の現状を正確に把握できるので、不具合など緊急時の判断材料として参考にできる。



図17 作業履歴画面

4.2.2 費用・工数の確認

費用・工数表示では、点検作業、保全作業、トラブル&リクエスト管理の作業費用を一覧にまとめて表示させている。機能を横断して作業費用を表示するので、保全対応などの投資判断として参考にできる。



図18 費用・工数画面

4.2.3 稼働実績の確認

稼働実績表示では、運転時間、投入回数から、設備機器の稼働状況をグラフ表示させている。経過年数に応じた稼働状況を確認できるので、今後の運転方針の判断材料として参考にできる。

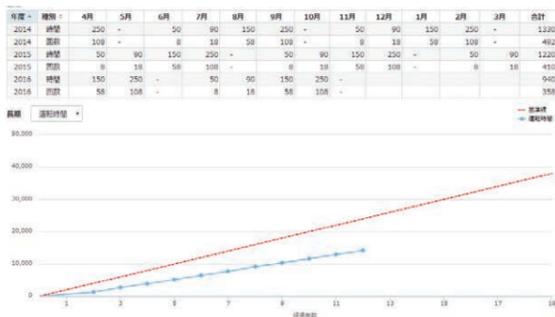


図19 稼働実績画面

4.3 計画立案業務のベストプラクティス

中長期保全計画機能と設備機器サマリ機能を活用したベストプラクティスの提供事例として、保全作業の実施シナリオを示す。

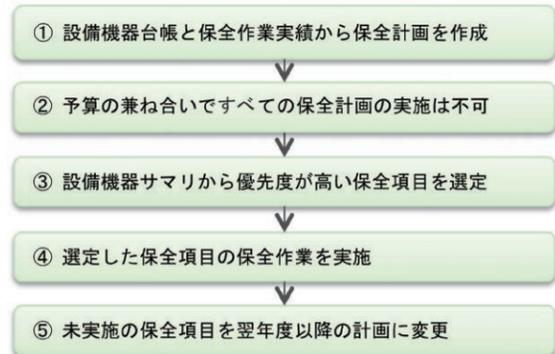


図20 計画立案業務の実施シナリオ

①～⑤で示したとおり、保全計画の作成、保全計画の選定、保全計画の変更といった煩雑な作業かつ高度な意思決定を、中長期保全計画機能と設備機器サマリ機能を活用することで効果的かつ効率的に支援できる。

5. おわりに

ビル向けクラウドサービスの設備保全管理(BM)を紹介した。ビルの設備管理は長期間にわたるため、多種多様な履歴が膨大に蓄積される。作業品質の維持・向上を図るためには、蓄積したデータを有効に活用し、設備オペレータ間の情報共有や、設備オペレータの入れ替わりの際の情報伝達を促進することが重要である。

今後は、ビル向けクラウドサービスの他のメニューとの連携機能、例えば、エネルギー管理(EM)のエネルギー情報を利用した管理標準機能や、クラウドの特性を活かした複数建物管理機能・比較機能を強化することで、さらなる提供価値の向上を図ってきたい。

<著者所属>

- 高橋 哲也 アズビル株式会社
ITソリューション本部
ITソリューションビジネス推進部
- 関根 摩耶 アズビル株式会社
ITソリューション本部
ITソリューションビジネス推進部
- 潮田 尚史 アズビル株式会社
ITソリューション本部
ITソリューションビジネス推進部
- 森 達也 アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー
環境ファシリティソリューション本部
ファシリティマネジメント企画部
- 森山 真一郎 アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー
マーケティング本部環境マーケティング部
- 伊藤 伸樹 アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー
マーケティング本部プロダクトマーケティング部

IoT時代におけるスマートトイレと ビルディングオートメーションシステムの 統合システム開発

Report on the Integration of Smart Toilets with a Building Automation System

アズビル株式会社
ITソリューション本部

鈴木 晃弘
Akihiro Suzuyama

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

福田 一成
Kazunari Fukuda

キーワード

IoT, スマートトイレ, BA システム, BACnet

ビルの衛生設備機器の1つであるトイレは、機器内部の各種センサ情報を使用し、高度な節電・節水機能を実現している。一方で、近年のIoT (Internet of Things)の進展を背景に⁽¹⁾、トイレにおいても外部ネットワークとの連携による新しい付加価値が期待されている。そこで今回、TOTO株式会社のスマートトイレ機器とBA (Building Automation)システムの統合システム開発に取組み、その実証試験として実物件にて各種トイレ用衛生設備機器とBAシステムをBACnetで接続した⁽²⁾。実証期間におけるトイレ使用状況のデータはアズビルクラウドセンターのサーバに長期間蓄積しており、データを集計・分析することで、設備保全・設備設計に価値のある情報を得ることができた。

As one of the key sanitation utilities in any building, the toilet, with the addition of internal sensors, has the potential to provide various kinds of data useful for the conservation of energy and water. With the increasing prominence of the concept of the Internet of Things (IoT), it is time to consider adding value to the toilet by connecting it to an external network. Accordingly, TOTO Ltd. and Azbil Corporation have developed a system that integrates a building automation (BA) system with smart toilets, and as a demonstration and test has connected toilets, urinals, and sinks to an existing BACnet BA system in a building. The data from the use of this equipment during a testing period was stored in Azbil's cloud center for collection and analysis and has helped to provide valuable information for facility maintenance, resource conservation, and utility design.

1. はじめに

公共トイレで利用される衛生設備機器である大便器、小便器、自動水栓、ハンドドライヤーなどは、人体検知センサを備えており、検知結果に基づいて節水や節電を実現する各種制御を行っている。具体的には、学習機能、デジタルフィルタなど、センサ情報に様々なソフトウェア処理を加えて、きめ細かな制御を行うことで実現している。

昨今、本格的なIoT時代を迎え、多種多様な機器情報をインターネットにつなげ、処理することにより、様々な付加価値が生み出されている。公共トイレでは、これまでもドアの開閉センサ情報からトイレの利用実態を分析する取組

みは行われてきた。しかしながら、衛生設備機器のセンサ情報は器具内だけで完結し、外部に出ることはなかった。多数の衛生設備機器情報を取り出し、発生時刻情報とともに蓄積して、様々な角度で詳細なデータ分析を行えば、トイレの使用状況の把握のみならず、使用者の行動推定によるサービス向上、最適な予防保全の施策立案などにつなげていくことが期待できる。

今回、公共トイレの衛生設備機器とBAシステムを、ビル管理システムのスタンダードな通信プロトコルであるBACnetプロトコルを使って結合する実証試験を実施した。本稿では、実証試験の概要と、一定期間蓄積したデータを使用し、各種分析を実施した結果について報告する。

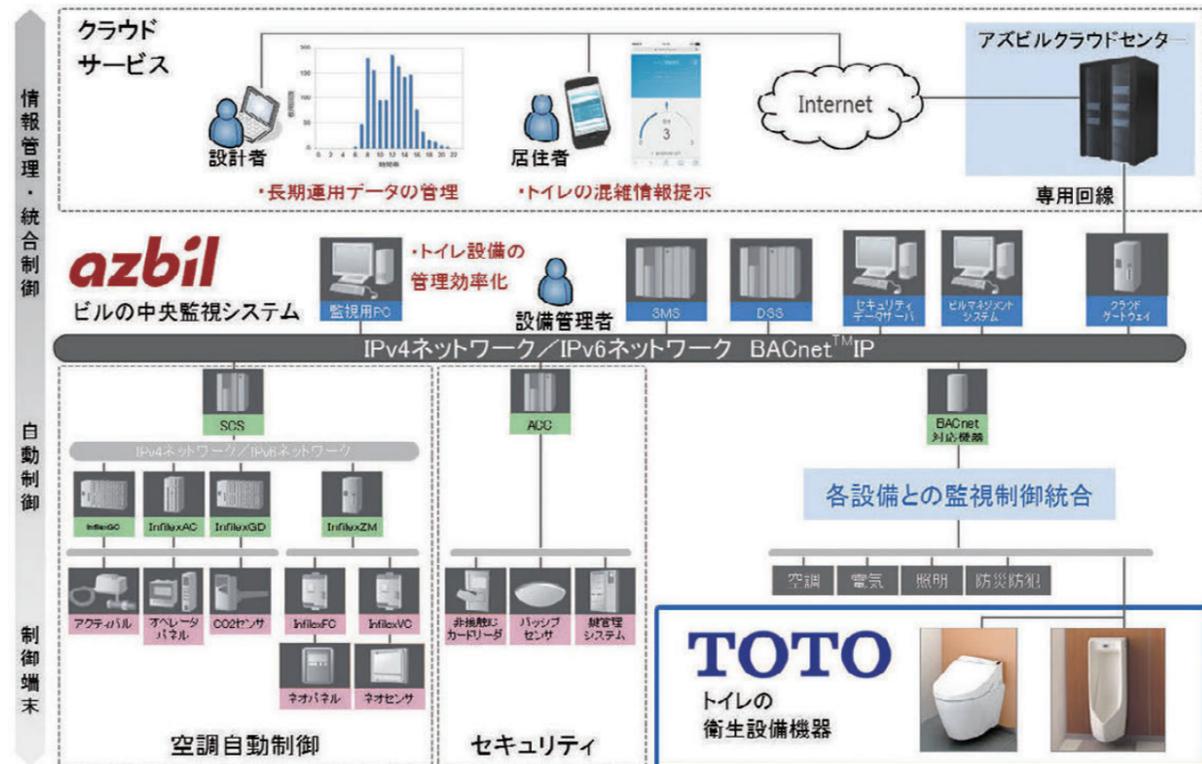


図1 BAシステムとトイレの統合イメージ

2. 目的

BAシステムとトイレの統合イメージを図1に示す。トイレ用衛生設備機器の内部センサ情報をBACnet通信によりBAシステムに集約することで、機器の使用状況の監視や使用実績の分析が可能となり、以下に示すような付加価値を生み出すことができる。

(1) 設備管理の効率化

トイレ利用実績の傾向を分析することで機器使用の偏りを可視化し、清掃計画の最適化や故障前の部品交換を検討することができる。

また、大便器の長時間使用や深夜使用などの不審な使用も、従来は現場確認が必要であったが、中央監視室での一括確認が可能となる。

(2) トイレ利用者の利便性向上

トイレ使用状況をデジタルサイネージ・PC・スマートフォンなどの機器で情報展開することで、トイレを利用する人は、事前にビル内トイレの混雑状況が確認でき、空いているトイレへスムーズにたどり着くことができる。

(3) 設備設計支援

多数のトイレ利用実績を蓄積・集計したデータは、類似案件の設計や設備改修における最適な器具数やレイアウトを検討する上での参考情報として活用できる。

3. 実証試験

3.1 対象設備

対象トイレ設備を図2に示す。

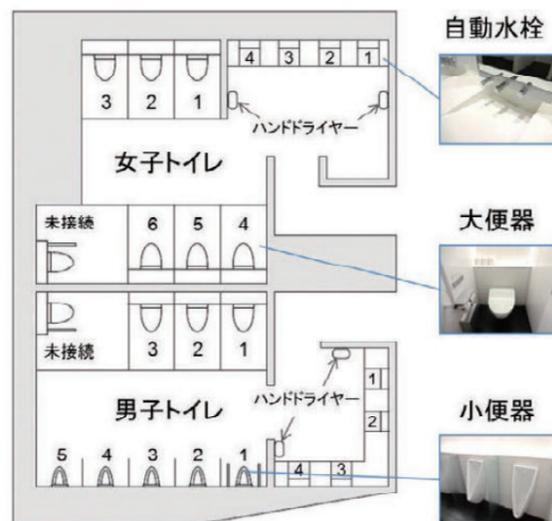


図2 実証トイレのレイアウト

実証建物は、オフィスにショールームが併設されており、建物のトイレはオフィス居住者以外にショールームの来館者も使用する。

3.2 実証システム

実証試験で構築したシステム構成を図3に示す。トイレ機器の使用状況がBACnetオブジェクトとして保持できるB-ASC (BACnet Application Specific Controller)を、実証建物における既存のBAシステムに接続した。

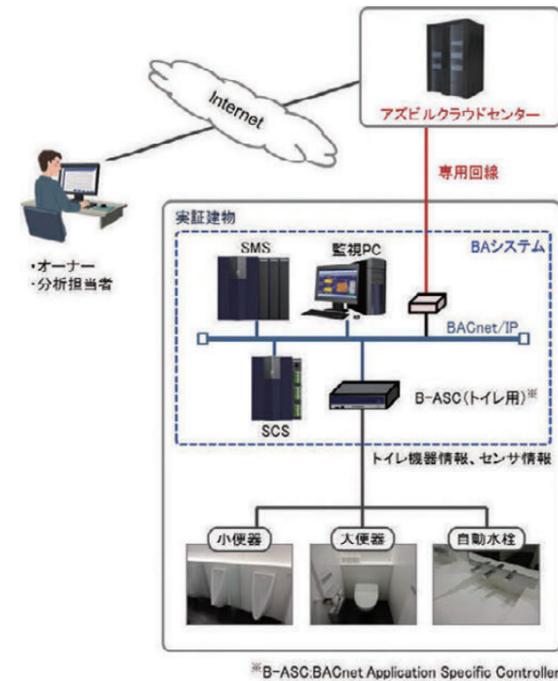


図3 実証試験のシステム構成

また、BAシステムは専用回線を通じてAzbilクラウドセンターに接続した。クラウドセンターではBAシステムの時系列データを長期間蓄積しており、利用者はインターネットを通じて蓄積されたデータを取得できる。

3.3 計測概要

3.3.1 トイレ使用状況測定方法

大便器は着座センサ、小便器・自動水栓は人体センサを使用し、機器使用を検知した。

大便器では着座センサを使用することで、ドアの開閉センサのみによる検知よりも精度良くトイレ使用を検知できる。将来的には、着座センサとドア開閉センサの情報を連携させることで、より詳細なトイレ使用実態を分析できる可能性がある。また、小便器人体センサ、大便器着座センサはチャタリングが発生しやすいので、誤検知を防止するため、10秒間のオフ・ディレイを設けた。

これらトイレ機器センサのイベント情報は、有線通信によって、トイレ機器用B-ASCに集約される。B-ASCは集約されたイベント情報に基づきカウントを実施し、データを蓄積する。BAシステムはBACnetプロトコルを使用し、周期的および状態変化発生時にB-ASCにアクセスしてトイレ機器情報を取り込む。

3.3.2 BACnet収集データ

表1にB-ASC上で保持するトイレ機器のBACnetオブジェクトリストを示す。

表1 BACnetオブジェクトリスト

オブジェクト名	オブジェクトタイプ	単位	個数
使用有無	BI	—	22
累計使用回数	AC	回	22
累計使用时间	AC	分	22
連続使用时间	AI	分	22
混雑率	AI	%	5

(1) 使用有無(BI)

各トイレ機器のセンサ検知状態を「0」、「1」の状態を表す。センサ状態の変化時にはB-ASCからBAシステムへCOV (change of value) 通知が即座に発生する。BAシステムは各トイレ機器の利用状況をリアルタイムで知ることができる。

(2) 累計使用回数(AC)

設備管理を目的としたトイレ機器の使用回数の積算値。使用有無オブジェクト (BI)の値が「0」⇒「1」に変化した回数をカウントする。

(3) 累計使用时间(AC)

設備管理を目的としたトイレ機器の使用時間の積算値。使用有無オブジェクト (BI)の値が「1」となっている時間をカウントする。

(4) 連続使用时间(AI)

トイレ機器が連続で使用されている時間。使用有無オブジェクト (BI)の値が連続で「1」となっている時間をカウントする。使用有無が「0」のときは、連続使用時間は「0」となる。BAシステムにて値を上限監視し、トイレの長時間使用を管理者に通知できる。

(5) 混雑率(AI)

機器をグループで分け、グループごとに使用割合を算出する。グループは機器種別(男子大便器、女子大便器、男子小便器、男子自動水栓、女子自動水栓)の5グループとした。

トイレ機器関連のBACnetオブジェクトの値は、定期的にクラウドセンターへデータ収集される。データ間隔は、ACオブジェクトは30分周期、BIおよびAIオブジェクトは1分周期である。

3.4 トイレ使用状況表示画面

実証では、BAシステムに図4のようなトイレ使用状況表示画面を作成した。使用された機器の色がリアルタイムで赤色に変化し、トイレの混雑状況を把握することができる。



図4 トイレ使用状況表示画面

4. 実証試験収集データ分析

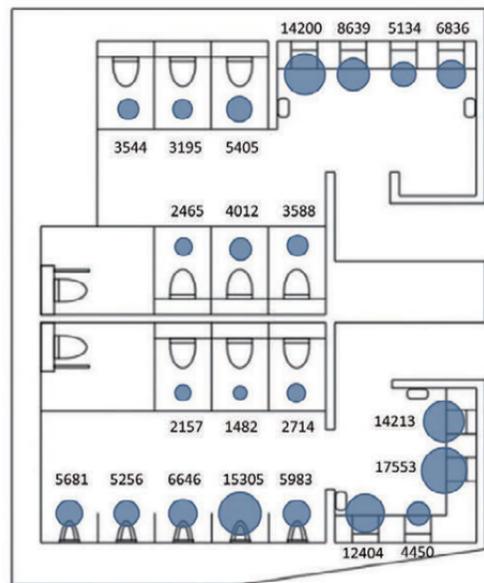
クラウドセンターに蓄積されたトイレ使用状況について分析した結果を紹介する。

4.1 機器別使用回数

図5に、2016年2月1日～9月30日における実証トイレの機器別使用回数を示す。

大便器・小便器は、入口近くの機器の方が使用回数が多い傾向がある。ただし、男子小便器1は入口に近いが相対的に使用回数が少ない。これは手すり付きの小便器のため、使用が避けられたと推測できる。一方、自動水栓は、大便器・小便器から距離が近く、かつハンドドライヤーからも距離が近い機器において使用回数が多い傾向がある。

このように、使用回数に偏りがあると特定の便器が汚れる、特定の小便器の配管に尿石が詰まる、などの問題が発生する可能性がある。使用回数を集計することで機器使用の偏りを可視化し、故障前の部品交換、予算組みなど、予防保全の施策を検討することができる。



※数値、および円の面積が使用回数を示す

図5 機器別使用回数[2016/2～2016/9]

4.2 時間帯別使用回数

図6～8に、2016年2月1日～9月30日における、男子大便器、男子小便器、女子大便器の時間帯別使用回数を示す。

オフィスの昼休みの12時台にて、機器使用回数のピークが発生していることが分かる。また、男子大便器に関しては始業前の朝8時台にもピークが発生している。

使用回数を時間帯別に集計することで、トイレ機器が汚れる時間帯を推測でき、点検や清掃、備品補充といったトイレメンテナンスサイクルの適正化を図ることができる。

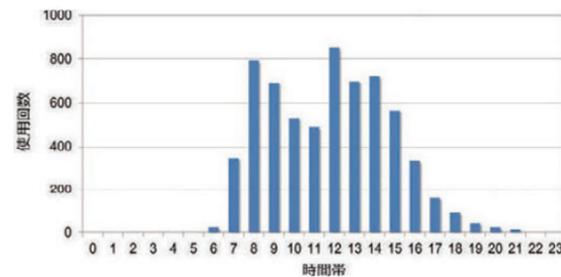


図6 男子大便器 時間帯別使用回数[2016/2～2016/9]

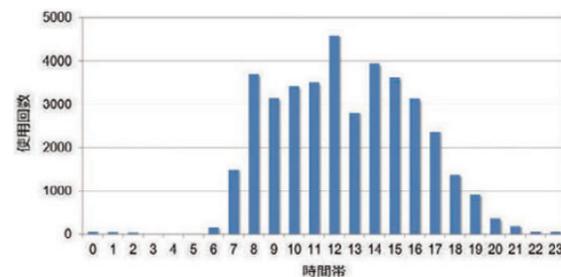


図7 男子小便器 時間帯別使用回数[2016/2～2016/9]

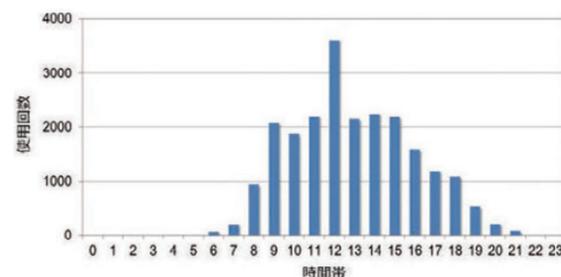


図8 女子大便器 時間帯別使用回数[2016/2～2016/9]

4.3 大便器連続使用時間

図9に2016年2月1日～9月30日における、大便器の連続使用時間の頻度分布を示す。

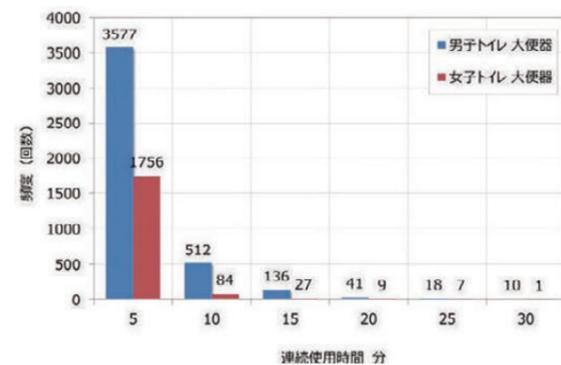


図9 大便器連続使用時間 頻度分布[2016/2～2016/9]

男子・女子便器ともに、大便器は5分以内の使用が多い。一般的に大便器は混雑する傾向があるため、実績データに基づいた平均的な連続使用時間が分かると、設備設計の参考情報として活用できる。

4.4 使用順序分析

本節では、機器間の使用順序について分析した結果を説明する。

分析に際してはイベント連鎖発生分析手法を使用した。この手法では、イベント情報の発生パターンから連鎖的に発生したと推測されるイベント群を自動抽出することができる⁽³⁾。

トイレが混雑している時のデータの方が特徴的な使用順序の抽出が期待できるため、実証建物でイベントが開催され、普段よりも利用者が多く、トイレの混雑が頻繁に起きた期間(2016年4月4日～4月8日)を分析期間とした。また、分析対象はトイレの混雑が起きやすい女子大便器とした。

図10に女子大便器使用の順序グラフを示す。このグラフは、トイレの混雑時に対象イベント情報がどのような順番で発生したかを表現したグラフである。

解析例では、女子大便器において、大便器3⇒大便器5(図10の青線)、大便器3⇒大便器4⇒大便器1または大便器2(図10の赤線)、という2通りの使用順序が抽出できた。

次に、使用順序とレイアウトの関係を確認した。図11に、分析で抽出した使用順序をレイアウト上にプロットした図を示す。抽出したどちらの使用順序からも、大便器はレイアウト上、端に配置された機器から使用され、両隣に挟まれる形のトイレは最後に使用される傾向が分かる。

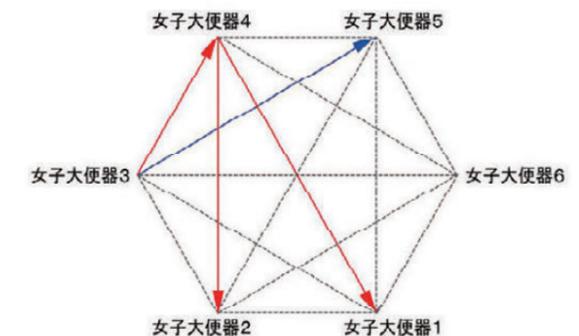


図10 女子大便器使用順序グラフ[2016/4/4～2016/4/8]

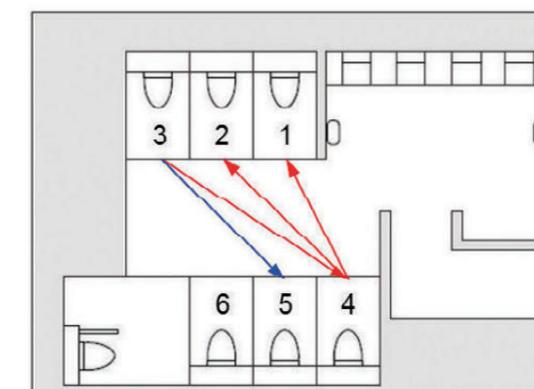


図11 女子大便器使用順序[2016/4/4～2016/4/8]

使用順序分析では実際のトイレ使用データから、トイレの動線分析が可能である。こうした情報は、トイレレイアウト設計の改善などに有効活用できる。

5. テナント向けクラウドサービスへの展開

本取組みの付加価値の1つとして、トイレ利用者の利便性向上がある。今回の実証試験では検証できなかったが、テナント向けクラウドサービスのプラットフォームを利用すれば、居住者にトイレの混雑状況をお知らせすることが可能である。

例えば、図12、13に示すような、PC画面・スマートフォン画面を利用する方法があると考えられる。

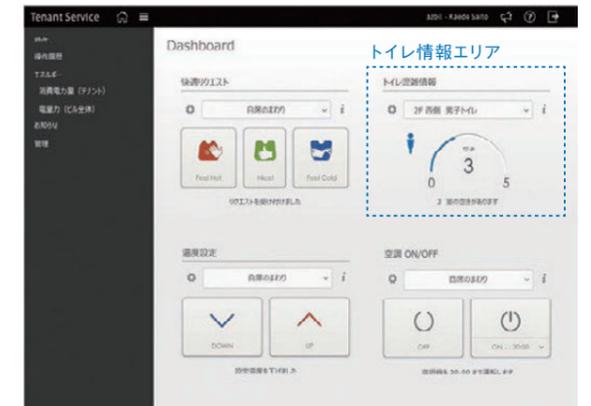


図12 PC画面(ダッシュボード)



図13 スマートフォン画面

6. おわりに

BAシステムとトイレをBACnetプロトコルで接続することにより、BAシステムとトイレが有機的に結合する方法を示した。その結果、使用者のトイレ利用状況をBAシステムで把握することが可能である。

また、トイレの情報を一旦BAシステムに取り込み、クラウド上にデータを蓄積すれば、トイレの利用分析が容易かつ詳細に行えることも示した。トイレ改善の施策実施前と実施後で分析データを比較すれば、改善の度合いを定量的に掴むことも可能となる。

今後は、トイレ内の行動分析だけでなく、ビル全体で見たとときのトイレ間の利用の差や、時期による変動など、利用者の行動分析も実施したい。

今回の実証試験ではトイレ設備をBAシステムにて情報統合することを試みたが、建築設備の各種機器がスマート化されIoT時代を迎える中、トイレに限らず建築設備全体をBAシステム中心に複合システムとしてクラウドで情報統合を行い、運用を最適化することも可能である。こうした接続機能を持った各種設備による複合システムの構築には企業間の連携が不可欠であり、今回はTOTO株式会社との協業により実現できた。

IoT時代においては、これまで異業種であった企業が、「新しいテクノロジー・スタック」を連携して作り上げる関係構築が重要である。技術者には、より幅広い視野で関係するテクノロジーを捉え、双方にメリットを創出できる力が必要であることを改めて確認できた。

7. 謝辞

本論文の実証試験にあたり、多大なご協力を賜りました。TOTO株式会社・エレクトロニクス技術本部およびマーケティング部に謝意を表します。

<参考文献>

- (1) 福田一成, 「BACS/BEMSにおけるIoTの活用」, 電気設備学会誌, Vol.36, No.7, 2016, pp.457-460
- (2) 鈴山晃弘 他: スマートトイレとBEMSのBACnet接続実証, 空気衛生工学会大会, 2016年9月
- (3) J. Nishiguchi, T. Takai: IPL2&3 Performance Improvement Method for Process Safety Using Event Correlation Analysis, Computers & Chemical Engineering, Vol. 34, 2010

<商標>

BACnetはASHRAEの商標です。

<著者所属>

鈴山 晃弘 アズビル株式会社
ITソリューション本部ITソリューション開発部
福田 一成 アズビル株式会社
ビルシステムカンパニーマーケティング本部

A Vial Loading System with Non-Contact Drive Mechanism Using Magnetic Technology

Xavier Gomez Garcia, Research & Development Department
Azbil Telstar Technology S.L.U.

Hisashi Beppu, Technology Development Headquarters
Azbil Corporation

Mitsuharu Tanaka, Technology Development Headquarters
Azbil Corporation

Yoichi Okawa, Technology Development Headquarters
Azbil Corporation

Keywords

non-contact, magnetic driven, compact layout, good manufacturing practices (GMP), Food and Drug Administration (FDA), automatic vial loading and unloading system, pharmaceutical manufacturing, freeze drying system, magnetic lead screw, clean transport system

近年、医薬品の凍結乾燥装置の分野において自動搬送装置の需要は高まってきている。製品品質が直接人体に影響を及ぼすことから、このような製造装置には高い清浄度、無菌状態を維持することが求められる。従来はシリンダ式のプッシャーやベルト式の搬送装置が利用されているが、これらはベローズやガイド構造に狭小な溝を有するため洗浄性が悪く、また装置の滅菌処理に課題があった。Azbil Telstarでは従来の送りねじに替え、磁石で作られたナットと磁性材によるねじ軸とが磁氣的結合力により非接触で駆動力を発生させる磁気ねじを用いた新しい自動搬送装置を開発した。ねじ軸は表面が平滑なステンレスカバーで封止され、ナットを搭載したスライダがチャンバ内外に設置されたねじ軸に沿って移動して製品を搬送する構造で、ベローズカバーを不要とした洗浄作業性の向上、チャンバ内に移動するすべてのパーツを炉内で蒸気滅菌できる無菌性の向上、そしてRear Pusherの廃止とFront Pusherの短縮による装置の小型化を実現したのでここに報告する。

In the market for freeze drying machines for the pharmaceutical industry, the demand for automatic loading and unloading systems is increasing. This kind of machine strictly requires clean and aseptic conditions to avoid adverse health effects and cross-contamination. Azbil Telstar has developed a new automatic system that uses a non-contact magnetically driven mechanism called a magnetic lead screw. Improvements achieved by this system include *high cleanability* by eliminating the bellows, *sterilization* of all parts going inside the freeze drying chamber, and *compact layout* by reducing the length of the front pusher and eliminating the rear pusher.

1. Introduction

Azbil Telstar has more than 50 years of experience in designing and manufacturing freeze drying machines for pharmaceutical production. This kind of

machine uses loading systems that can be operated manually, semi-automatically, or fully automatically in order to handle vials containing pharmaceutical products. Although an automatic loading and unloading system requires a high initial investment and much

space for the machine, it has the advantage of cost reduction by decreasing the number of operators in the cleanroom, raising productivity by reducing operation cycle time, and maintenance of quality. It can also free operators from hard work and allow toxic products to be handled more safely in isolators. Recently, customers tend to prefer freeze drying machines with automatic systems.

In designing this kind of machine, manufacturers must follow good manufacturing practices (GMP), a compendium of regulations enforced by regulatory authorities for the pharmaceutical industry, such as the U.S. Food and Drug Administration (FDA). GMP guidelines cover quality management systems, the quality of raw materials, design considerations, robust operating procedures, etc., in order to assure the quality and purity of manufactured pharmaceutical products.

Automatic systems have matured and the technology employed by different manufacturers has not evolved much recently. However, current proprietary systems still have room for improvement in terms of GMP and their large footprint, so customers are not fully satisfied with systems currently on the market. Taking customer requirements into consideration, Azbil Telstar has developed a new automatic loading and unloading system with a patented non-contact magnetic drive mechanism. It is very compact and easily integrated with isolators and a restricted access barrier system (RABS), which has a physical barrier to restrict access and a controlled one-way airflow to keep the area clean by means of a HEPA filter. Therefore, compared to similar systems, our new automatic loading and unloading system ensures GMP by improving cleanability and sterility.

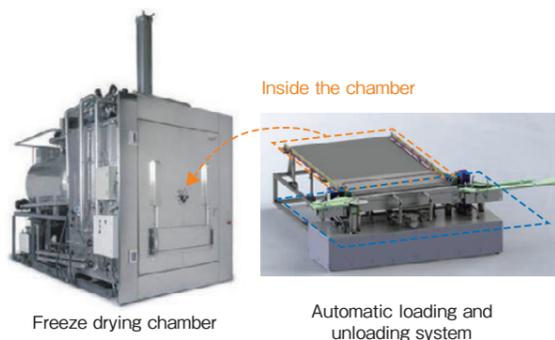


Fig. 1. Freeze drying machine

2. Current Automatic Vial Loading Systems

In the following, the details of Azbil Telstar's two main automatic vial managing systems are described.

2.1. Push-push system

• Pusher + Colt:

This option consists of a long pusher in front of the machine that loads vials row by row, until the final push completes loading of the full shelf. To unload vials, there is a rear pusher (called a Colt), that works with several rods encapsulated in a revolver drum, which are released and coupled one by one. This configuration makes the machine more compact, but is more expensive and complex. In a push-push configuration, it is also possible to replace the Colt with a long rear pusher, but this option is not very common.

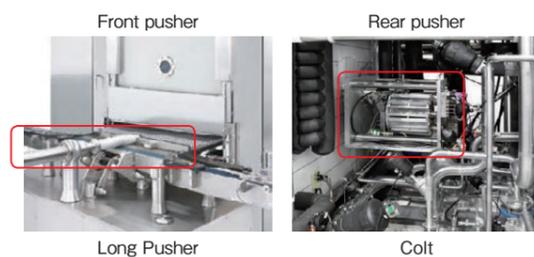


Fig. 2. Pusher + Colt system

2.2. Push-pull system

• Pusher + Belt:

In the pusher + belt configuration, instead of a rear pusher (a Colt or rear long pusher) there is a belt mechanism. As in the push-push system, a front long pusher is used in the loading phase. A belt which has a bar for handling vials, and belts connected to the bar on both sides, are used in the unloading phase to pull vials out of the chamber. This system is more compact than the rear pusher.



Fig. 3. Pusher + belt system

2.3. Opportunities for improvement in current systems

Azbil Telstar's current automatic loading and unloading systems are well known and are used in many freeze drying machines. However, both systems can be improved to the benefit of customers. The main improvements needed are: better adherence to GMP, reduced footprint, decreased maintenance operations, and easier cleaning by automatic procedures.

In the push-push system, points that can be improved are the use of bellows and the need for a large installation space. Bellows are spring-like components made of plastic or stainless steel that compress and extend during normal operation. They are needed to fully cover linear movement which can potentially generate particles. Since bellows have narrow grooves, they are difficult to clean completely and there is always a risk of remaining contamination. Also, the system has a long pusher in front, which restricts the workspace of operators. Moreover, it makes the design of isolators and open or closed RABS more complex due to the necessity of sealing the long pusher. The Colt is a compact pusher composed of a revolver drum with several discrete rods (bullets) that connect to each other to form a long pusher. It is installed in the back of the machine. This system restricts the design of the condenser of the freeze drying machine. A desirable improvement would be to remove the bellows and pusher from the system or to reduce the length of the pusher.

With regard to the belt system, there is a mechanism that guides belts into the machine properly. Since the belt is a thin sheet of metal, the belt guiding system is very difficult to clean and sterilize completely. A desirable improvement would be to remove any narrow grooves like those of the belt guiding system. Fig. 4 shows the labeled subsystems.

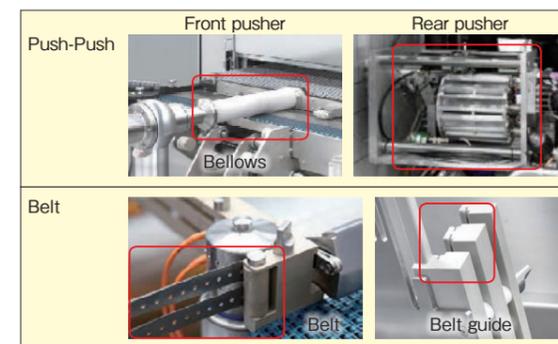


Fig. 4. Points for improvement in current systems

3. Magnetic Lead Screw

3.1. Difference from a conventional lead screw

Lead screw transmission is widely used in automatic transport systems in order to position an object linearly with high accuracy. However, in the case of a system which needs great cleanliness during operation, such as in pharmaceutical manufacturing processes, there is a GMP restriction on using this technology because contact between the screw and nut generates

particles. Additionally, grease is normally used, so there is considerable risk of contamination. To avoid these problems, a conventional lead screw requires some kind of modification for clean applications, such as covering it with a bellows. However, there are important concerns and limitations with regard to bellows, including maximum allowable stroke, periodic maintenance, difficulty of cleaning, and increased cost.

By contrast, an actuator called a magnetic lead screw, which transfers the drive force by magnetic coupling, has previously been studied and developed. It can solve the problems of the lead screw because there is no contact and therefore no particle generation. However, a magnetic lead screw has less ability to transfer force, and is less rigid than a mechanical lead screw, so the design must take these characteristics into account. On the other hand, the nature of magnetic technology allows misalignments to occur without breaking any mechanical component.

3.2. Principle

Next we describe the structure of the magnetic lead screw that was developed for the new system. It is composed of a screw shaft and a nut. The screw shaft is made of ferromagnetic steel and has threads with a certain pitch and shape. The nut is composed of neodymium permanent magnets which are magnetized spirally with the same pitch as the threads of the screw shaft. There is a yoke at the periphery of the nut (magnets) in order to close the loop of the magnetic circuit. The screw shaft is supported by bearings at both ends so that it can rotate. The nut is supported by a guide mechanism so as not to rotate but to be movable along the axis. It is most stable when the magnetic poles of the nut face the threads of the screw shaft. When the screw shaft is rotated it generates a relative displacement between the magnetic poles and the screw threads. Thereupon a restoring force is generated which acts to restore a stable position by magnetic coupling. By that means the nut moves linearly following the rotation of the screw shaft.

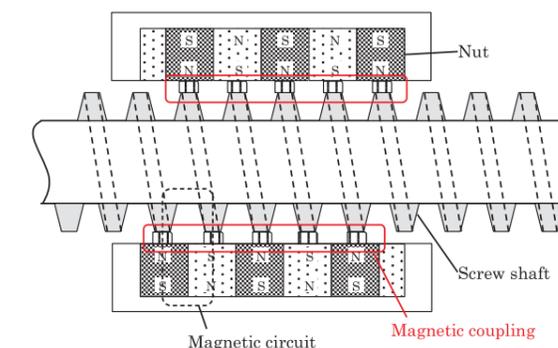


Fig. 5. Stable position of the magnetic lead screw

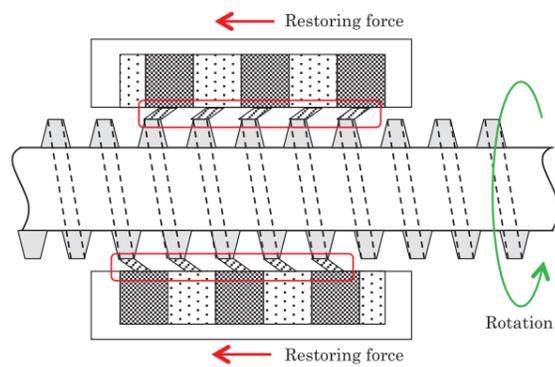


Fig. 6. Restoring force by relative displacement

It is difficult to calculate the restoring force because adjacent magnetic couplings possibly interfere with each other, and the magnetic circuit in the magnetic lead screw is complex. Therefore the restoring force has been calculated with the finite element method (FEM). The relationship between restoring force and relative displacement is shown in Fig. 7. According to calculations, peaks in the restoring force occur at a relative displacement of 45° and in the opposite direction at 135° . There is no restoring force at a relative displacement of $0, 90$ or 180° . Because we used a double threaded screw as the screw shaft, if the relative displacement reaches 180° , the magnetic pole of the nut couples with the next thread of the screw shaft. Therefore it is assumed that this will repeat at a cycle of 180° . To use this mechanism for a transport system it is important to consider whether the peak thrust force is sufficient for transport, and the effects of rigidity on positioning accuracy.

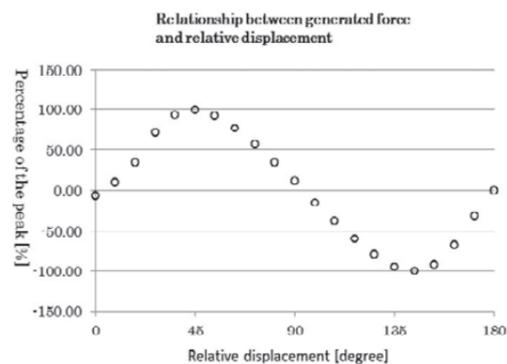


Fig. 7. Relationship between generated force and relative displacement

4. Verification Test Bench

4.1. System configuration

To verify the performance of the new system, a full-scale test bench capable of simulating the sequence of loading vials from conveyor to shelf and unloading vials from shelf to conveyor was constructed. The following shows the structure of the test bench.

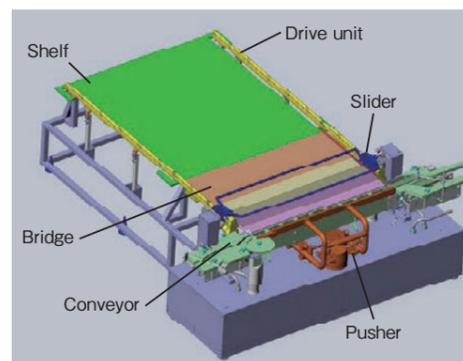


Fig. 8. Test bench configuration

It is composed of different subsystems, including the following.

- Shelf
A place where loaded vials are placed. It represents the interior of a freeze drying machine chamber.
- Conveyor
Used for transporting vials in a loop to perform endurance tests.
- Bridge
Serves as an intermediary for transporting vials between the conveyor and the shelf. It can be separated in order to close the chamber door. In this prototype the chamber door has been omitted.
- Pusher
Used to push vials from the conveyor to the bridge.
- Drive unit
Composed of the screw shaft of the magnetic lead screw and the guiding system for the slider. It runs along both sides of the shelf and bridge, and is composed of different assembly groups which can be connected to and disconnected from each other.
- Slider
Contains the nut of the magnetic lead screw and can be moved from bridge to shelf. It has a long bar that spans the bridge or shelf and is used to pull or push vials.
- Buffer unit
(Not shown.) A rotary table is used to store vials, and is connected to the conveyor so as to implement a continuous loading and unloading sequence.

The sequence of loading and unloading vials is as follows. First, vials are transported from the buffer unit and are lined up on the conveyor. Next, the pusher pushes a row of vials out of the conveyor and goes back to standby position. These steps are repeated until all the vials are unloaded from the conveyor. In this situation, some of vials are on the shelf, but others are still on the bridge, since the pusher does not have

a long stroke. The slider then moves to the end of the bridge and pulls the vials with the bar to complete the loading of the shelf.

In the unloading operation, the slider first moves to the end of the shelf. Next, it pulls vials off the shelf in the direction of the conveyor.

4.2. Improvements achieved

In this section the improvements achieved by the new system using a magnetic lead screw are discussed.

First, the system is more cleanable. It is important to remove small grooves and holes from the system because they are difficult to clean and may contain contaminating particles. Because there can be a gap between the screw shaft and the nut, the screw shaft can be fully covered with a stainless steel pipe (standard steel is not acceptable in GMP areas). Then, since only a short stroke is needed, the pusher does not require covering by a bellows, because linear motion is achieved by a rotary mechanism with rotary seals. In this way the system with a magnetic screw, which has a round shape and smooth surface, is more cleanable.

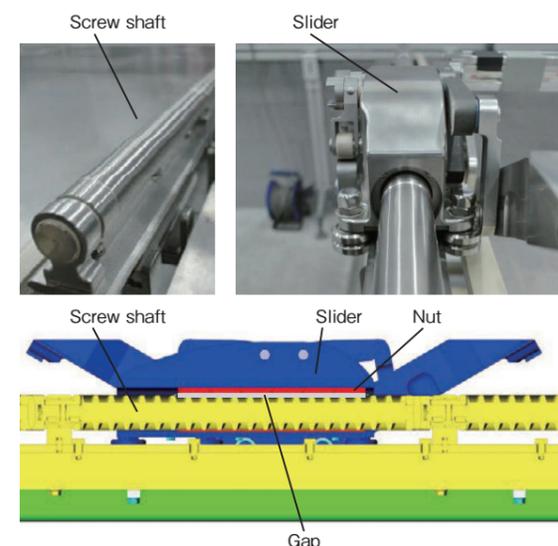


Fig.9. Magnetic lead screw as part of the system

Second, the system provides steam sterilization and cleaning in place (CIP) of the slider in the chamber. Steam sterilization is widely used for sterilizing freeze drying chambers because it does not require special chemicals, and the process takes less time than other methods. No power cable, signal cable, or other wiring is needed for control of the slider, and it can stay inside the chamber when the chamber door is closed. The slider is composed of material such as stainless steel and FDA-approved plastic parts that have good temperature and corrosion resistance characteristics. Therefore the slider can withstand chemical cleaning

and steam sterilization processes.

Many automatic loading and unloading systems are manually cleaned by the operator, but this is a difficult job. It also carries the risk of contaminants remaining in the system, depending on the ability and tools of the operator. The availability of steam sterilization and CIP in the chamber helps to maintain quality and relieves the operator of hard work.

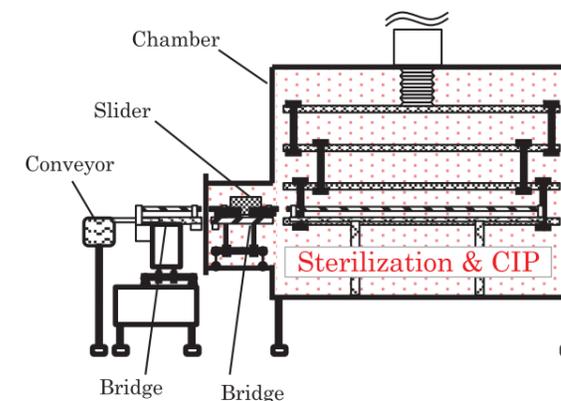


Fig. 10. Sterilization in the chamber

Third, the new system is compact. Because the slider loads vials from the bridge to the shelf, the pusher does not need the long stroke of the current system. That makes the system compact and makes it possible to prevent the parts of the pusher from hanging over the cabinet in front of the conveyor and to eliminate the rear pusher (such as a Colt or long rear pusher). This gives users a better work space and affords flexibility of layout.

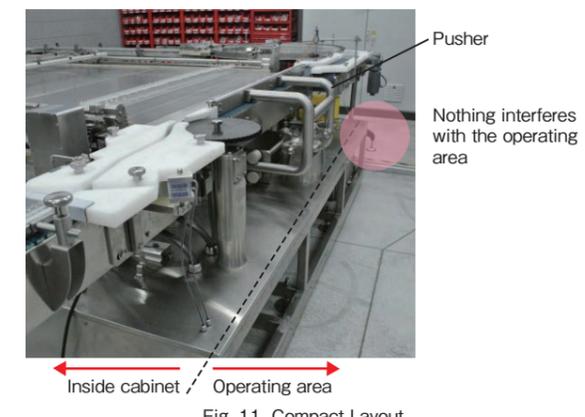


Fig. 11. Compact Layout

5. Conclusion and Future Prospects

The new and revolutionary automatic loading and unloading system we developed for freeze drying machines is a valuable upgrade to state of the art solutions. Its unique and patented design with a non-contact magnetically driven slider assembly and a

compact front pusher that fits in easily with isolators and closed RABS, together with the absence of a bellows, the elimination of the rear pusher and belt mechanisms, the possibility of sterilizing all parts that go inside the chamber and in contact with the product, and its inherent simplicity, cleanliness, and reliability make this development a good asset for the pharmaceutical industry.

Azbil Telstar expects this newly developed system to provide current and new customers in the pharmaceutical industry with better solutions for managing vials, specifically in connection with freeze drying machines. The resulting increased competitiveness is expected to put the company in the forefront of the industry in the area of automatic vial handling solutions.

Reference publication

Tadahiko Shinshi, Junichi Hashimoto, Bo-Ching Chen, Kaiji Sato, Akira Shimokohbe. "A New Magnetic Lead Screw and Its Basic Characteristics." *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol. 64, No. 618, 1998.

装置搭載向けに小型化し、耐ノイズ性を向上させた マスフローコントローラの開発

A Compact Mass Flow Controller with Improved Noise Resistance, Designed for Mounting on Manufacturing Equipment

アズビル株式会社
アドバンスオートメーションカンパニー

館山 哲也
Tetsuya Tateyama

キーワード
マスフローコントローラ, 流量制御, 高速応答性, 耐ノイズ性, F4H, マイクロフローセンサ

ファクトリーオートメーション (FA) 市場の中でも製造装置に搭載されているマスフローコントローラには、性能や機能よりもコストやサイズが重視されるものが多い。その市場要求に応えるため、コストやサイズを抑えると同時に、装置搭載用途向けに必要な性能・機能と使いやすさを考慮し、また従来品よりも大幅に耐ノイズ性能を向上させ、ノイズ源の近くに設置されても影響を受けないよう考慮したマスフローコントローラを開発した。

In the factory automation market, cost and size are more important than performance or function for mass flow controllers that are mounted on manufacturing equipment. To meet the demand in this market, we have developed a low-cost, compact digital mass flow controller with performance and functions that are suited for mounting on equipment. Resistance to noise is substantially improved compared to existing product lines. The controller is not affected by noise even if the source is nearby.

1. はじめに

マスフローコントローラは主に半導体製造工程におけるプロセスガスの流量制御に使用されてきた。近年では品質の安定化、効率化、省エネルギー化などを目的とした自動化ニーズの高まりとともに、ガラス加工やロウ付けなどでのバーナ空燃比制御、工業炉雰囲気ガス制御などの一般産業市場でも使用されている。

当社では、超高速応答流速センサである「マイクロフローセンサ™」と比例バルブを組合わせたデジタルマスフローコントローラを販売しており、高機能タイプの形 MQV と低価格タイプの形 MPC の2種類がある。しかし、FA 市場の中でも製造装置向けとしてはいずれもコスト・要求仕様

に合わないケースもあった。そこで、市場要求に応えるためにコストやサイズを抑えると同時に、装置搭載用途向けに必要な性能・機能と使いやすさを考慮したマスフローコントローラ 形 F4H を開発した。超高速応答流速センサである「マイクロフローセンサ」の特長を活かし、全閉状態から設定流量±2%FS以内への整定時間0.3s (TYP.) という高速応答性を実現した。また、従来品よりも大幅に耐ノイズ性能を向上させ、ノイズ源

の近くに設置されても影響を受けないようにした。また、形 F4H の開発より、流量計製品群の統一デザイン化とハードウェア/ファームウェアの共通化の検討も行った。

本稿では形 F4H の概要と特長を紹介し、その高速応答性と耐ノイズ性についての性能確認結果を報告する。



図1 F4Hシリーズの外観図

一般論文

2. F4H シリーズの概要

形 F4Hの外観を図1に、概略仕様を表1に示す。

表1 小型デジタルマスフローコントローラF4Hの概略仕様

バルブ方式	比例ソレノイドバルブ (ノーマリークローズ)
フルスケール流量 (窒素換算値)	F4H9050:50.00 mL/min (normal) F4H9200:200.0 mL/min (normal) F4H9500:500.0 mL/min (normal) F4H0002:2.000 L/min (normal) F4H0005:5.000 L/min (normal) F4H0020:20.00 L/min (normal) ※L/min (normal)は0°C、1気圧に換算した 1分あたりの体積流量を表す。
対応ガス種類	空気/窒素、酸素、アルゴン、炭酸ガス、 水素、ヘリウム
応答性	設定±2 %FSに0.3s (TYP.)
制御範囲	2~100 %FS (F4H9050は4~100 %FS)
精度	±1 %FS (F4H9050は±2 %FS))
繰り返し性	±0.2 %FS + 1 digit以下
接ガス部材質	SUS316, フッ素樹脂, フッ素ゴム
接続方式	9/16-18UNF, Rc1/4, 1/4Swagelok相当, 1/4VCR相当
通信仕様	通信方式 :RS-485(3線式) プロトコル :CPL通信, Modbus RTU 接続 :RJ45 × 2
電源	定格:DC24V, 消費電流:300mA max
外形寸法	76(W)×100(H)×28(D) mm (継手・コネクタの突起部分を除く)
質量	約700 g (継手除く)

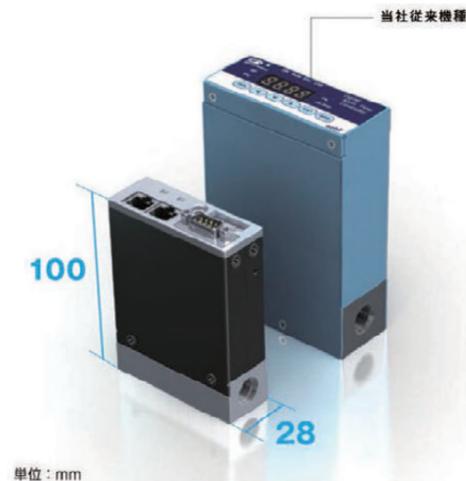


図2 従来機種との比較図

(4) 流量計製品群の統一化・共通化

当社の従来マスフロー製品は、デザインの訴求コンセプトが未定義であり、製品ごとにデザインが異なっていた。形 F4Hより訴求コンセプトを「堅実、精緻、柔軟」とし、ブラックボディ&シルバーフェースのデザインを採用して、流量計製品群デザインの統一化を図る。

また、流量計製品群でのハードウェア/ファームウェアの共通化も行い、機能ブロックごとに設計を行うことにした。これにより流量計開発の期間短縮、工数削減が見込まれる。

(5) 全機種に通信機能標準搭載

IoT対応に備えて全機種に通信機能を搭載した。形 F4Hが持つ多くの情報を通信で上位機器に上げることが可能で、これにより形 F4Hの故障診断にとどまらず、装置診断にも発展させることが可能となった。

また、PLCとの接続をアナログ信号から通信に移行することでアナログI/Oモジュールや接続ケーブルの削減が可能となった。

<モニタ可能情報>

設定流量、瞬時流量、バルブ駆動電流、アラーム履歴、バルブ駆動回数、形番/シリアル番号、設定パラメータ など

<設定可能項目>

ガス種類、ガス補正係数、流量レンジ、バルブ制御/全開/全閉、アラーム/イベントリセット、流量単位変更 など

(6) 単一電源動作

従来のマスフローコントローラでは一般にはあまり使用されていないDC±15Vの両電源を必要としたため、マスフローコントローラ用に専用電源を用意しなければならなかった。形 F4Hでは当社従来機種(形 MQV)と同様にDC24Vの単一電源での動作を可能としたため、安価な汎用電源が使用でき、他機器との電源共用化も可能となった。

また、実験用などの簡易の用途向けとして、簡単に電源配線ができるよう、ACアダプタが接続できる電源ジャックも用意した。

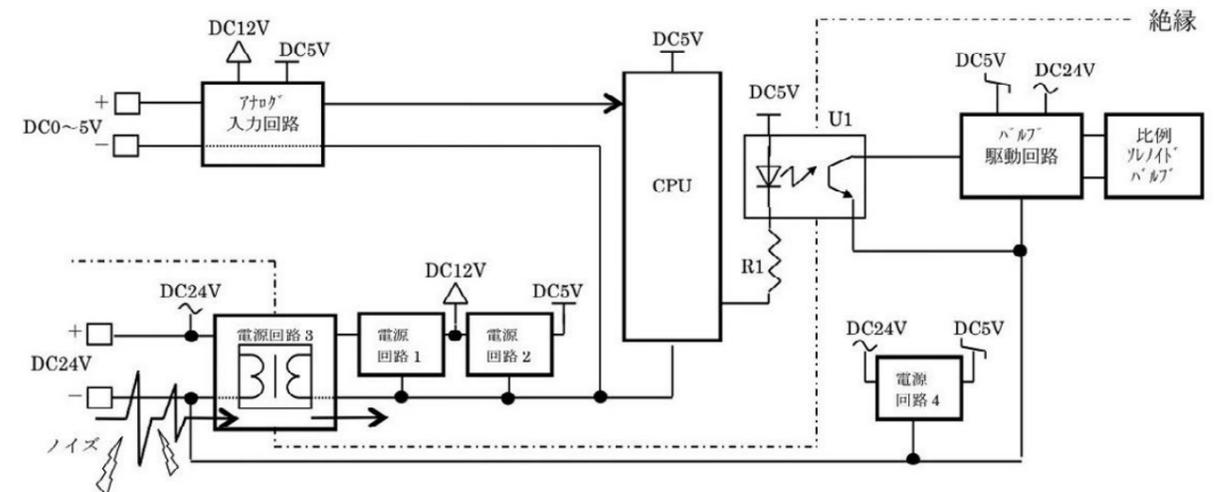


図3 電源回路と信号回路の絶縁

(7) マルチガス対応

ガス種類設定機能により使用するガス種類の変更が可能となった。ガス種類ごとにマスフローコントローラを用意することが不要となり、装置内の設置台数の削減、およびユーザーの選定機種削減・在庫削減に寄与する。

(8) 耐ノイズ性能

形 F4Hは、図3のようにバルブ駆動回路を他の回路から絶縁することで、小容量の絶縁型電源(電源回路3)での「電源回路とアナログ回路の絶縁」(特許第5132617号)を実現した。これにより電源線からノイズが入ってきてもアナログ信号への影響がなく耐ノイズ性に優れた設計となった。

また、センサとセンサCPUの距離を短くし、センサCPU以降はデジタル信号で処理するようにしたことで、アナログ信号の区間が短くなりノイズ影響を受けにくい設計とした。

2.2 アプリケーション例

図4は真空成膜加工(ハードディスク、ブルーレイディスク、液晶パネル、タッチパネル用ガラスなど)における、スパッタリング装置でのアプリケーション例である。

このアプリケーション例ではマスフローコントローラを用いてアルゴンガス、酸素、窒素を供給しており、次のことが重要視されている。

- ① 高周波電源によるノイズ影響を受けず、安定した流量制御を行えること
- ② 反応性スパッタリングの成膜レートを速くして、全体の生産性を上げること

これらに対し、形 F4Hの耐ノイズ性、高速制御応答性が有効である。耐ノイズ性に優れた形 F4Hを使用することで安定した流量制御を行うことが可能となり、品質のばらつきをなくし、歩留まりを向上することができる。また、高速制御応答性により遷移モードでの反応性スパッタリングが実現でき、生産性も向上することができる。

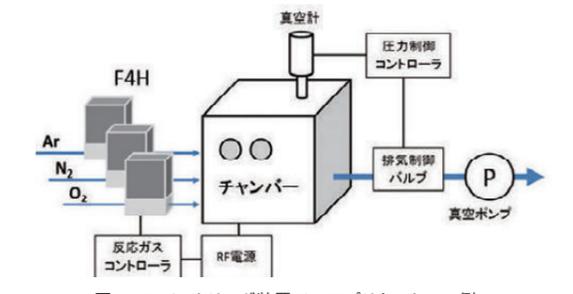


図4 スパッタリング装置でのアプリケーション例

3. システム構成

形 F4Hの構成ブロックを図5に示す。

主な構成は、流量計測部、設定・表示・外部接続部、制御回路、比例バルブに大別できる。

(1) 流量計測部

流路の壁面に「マイクロフローセンサ」を設置し、センサの上流側に整流用の金網を設けただけの非常にシンプルな構造とした。

(2) 設定・LED表示・外部接続部

形 F4Hでは、主要な設定・LED表示・外部接続部は本体上面に集約した。

通信設定用としてロータリスイッチ(3点)を搭載しており、通信速度および条件設定、通信アドレス設定を行うことができる。

製品の状態認識用としてLED(2点)を搭載しており、LEDの点灯・点滅パターンで電源のON/OFF、通信状態などを認識することができる。

外部接続用としてD-sub9ピンコネクタ(オス)とRJ45コネクタ(2口)を搭載した。D-sub9ピンコネクタ(オス)は電源DC24Vの供給、アナログ入出力、外部接点入力、イベント・アラーム出力に使用する。RJ45コネクタ(2口)はRS-485通信用に使用し、複数台をデジチェーンで接続するこ

2.1 特長

形 F4Hは以下のような特長がある。

(1) 高速制御応答性

形 F4Hでは、超高速応答流速センサである「マイクロフローセンサ」、比例バルブ、PID制御の組み合わせにより、全閉状態から制御を開始したときに設定流量±2%FS以内に安定するまでの時間が0.3s (TYP.)という高速応答性を実現した。

(2) 小型・薄型化

形 F4Hは装置に必要な機能に徹することで、当社従来機種(MQVシリーズ)に対して50%の体積に小型・薄型化することを実現した。幅28mmの薄型設計のため、連装の際に配管の間隔を詰めることが可能になった。また、これまでできなかった垂直配管にも対応した。これらにより顧客装置内での設置自由度の向上および省スペース化が可能となった。

(3) 設定・LED表示・外部接続部を上面に集約

形 F4Hでは設定・LED表示・外部接続部を上面に集約した。これにより、配管後の配線接続、設定変更、LED表示の確認が容易に行えるようになり、現場での作業性向上が可能となった。

とができる。

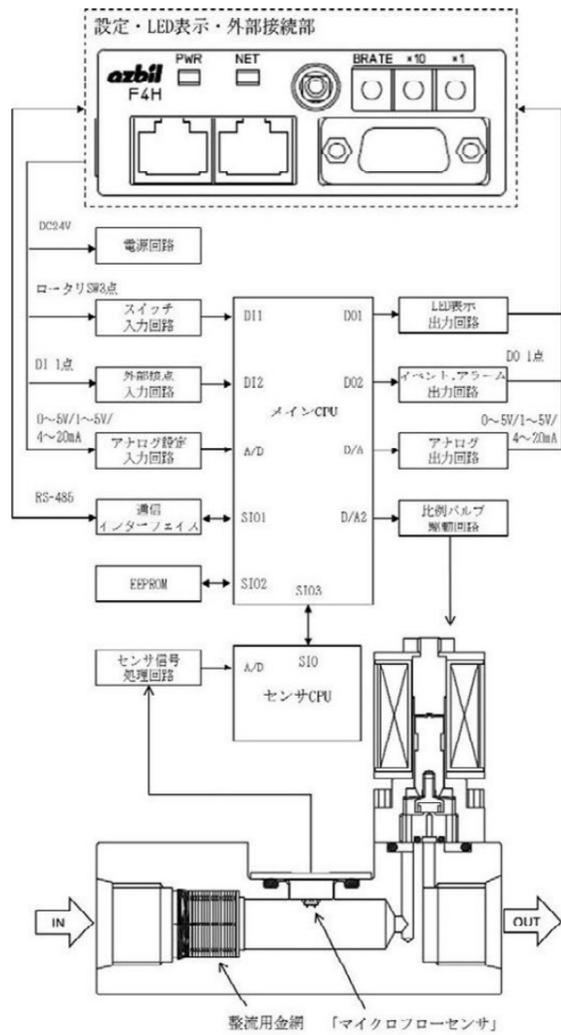


図5 構成ブロック図

(3) 制御回路

「マイクロフローセンサ」で検出した制御流量信号はセンサCPU内で流量データに変換され、通信でメインCPUへ送られる。流量データと設定流量をメインCPU内で比較演算し、その結果に基づいて比例バルブへ駆動電流を出力して流量制御を行っている。

RS-485通信を使用することで流量設定の書き込みと制御流量の読み出しが可能である。そのほかの設定の読み出し・書き込み、イベント・アラームなどの情報の読み出しも可能である。

また、従来の当社マスフローコントローラと同様に流量設定は外部アナログ入力による設定も可能であり、制御流量の外部アナログ出力も行えるので外部機器とアナログインターフェースによる接続を行うことも可能である。

そのほか通信設定用のロータリスイッチ (3点)、外部接点入力 (1点)、イベント・アラーム出力 (1点) を備えており、これらを使用して機能の設定・割当てを行うことができる。

(4) 比例バルブ

ノーマリークローズタイプの比例ソレノイドバルブを採用した。流量の比例制御に加えて閉止能力も持たせるため、弁の形状をフラットにし、ガスの流れ方向を通常のプロポーション弁とは逆となるflow to close構造 (弁側から弁座側への流れ) とした。

4. ハードウェア/ファームウェアの共通化設計

形 F4Hでは、2.1の(4)で前述したとおり、流量計製品群でのハードウェア/ファームウェアの共通化も検討を行い、機能ブロックごとに設計を行った。

図6に共通化のイメージ図を示す。大きく3つに分類することができる。

(1) 低価格流量計

流路ボディ、「マイクロフローセンサ」、センサの信号を処理するセンサCPUで構成される

(2) 高機能流量計

低価格流量計に、流量データを基に様々な機能を実現するためのメインCPUを加えた流量計

(3) 流量コントローラ

高機能流量計にバルブ駆動回路と比例弁を加えた流量コントローラ

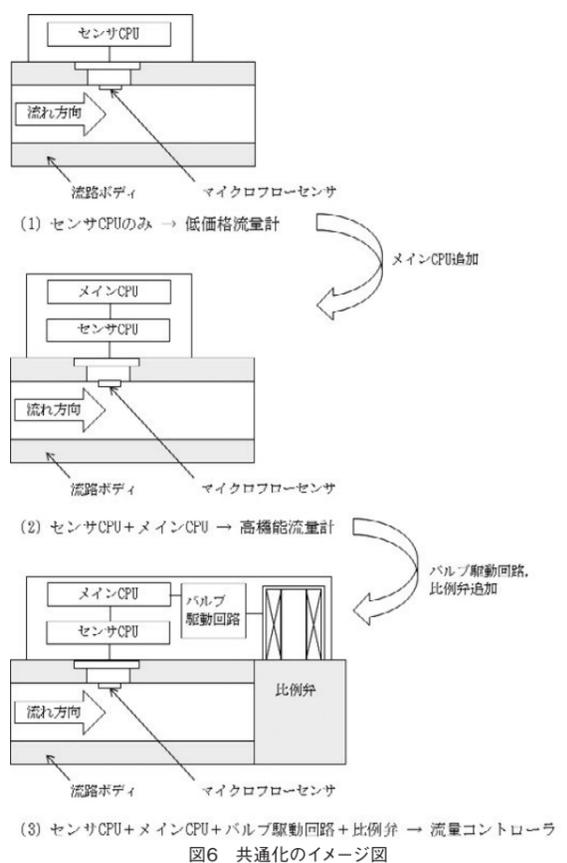


図6 共通化のイメージ図

各CPUのF/W、CPU周りの回路、流路は機能ごとにブロック化した設計とした。目的・用途に応じて必要な機能を選択して組み合わせるようにしたことで、今後の流量計開発の期間短縮、工数削減を見込めるものとした。

また、形 F4Hでは、今後の通信機能拡張を想定して、設定・表示・外部接続部を搭載するトップパネルの設計を行った。通信方式には様々な種類があり、それぞれの方式により接続コネクタの種類が異なるが、今後の拡張で想定しているすべての通信方式で同じトップパネルが使用できる設計とした。

5. 性能確認試験結果

形 F4Hの特長である、高速制御応答性と耐ノイズ性について性能確認試験を行った。

5.1 高速応答性の確認

図7に示す装置にて比例バルブ全閉の状態から制御を開始したときの応答性を確認した結果を図8に示す。

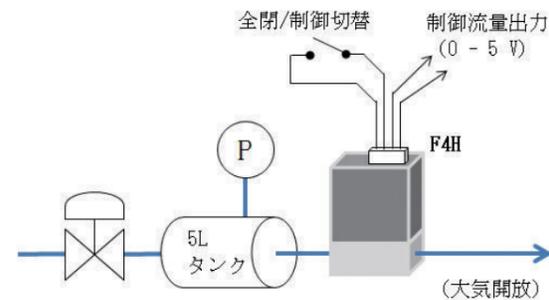


図7 制御応答性測定装置
(F4H9500:500mL/minレンジ品, F4H0002:2L/minレンジ品)

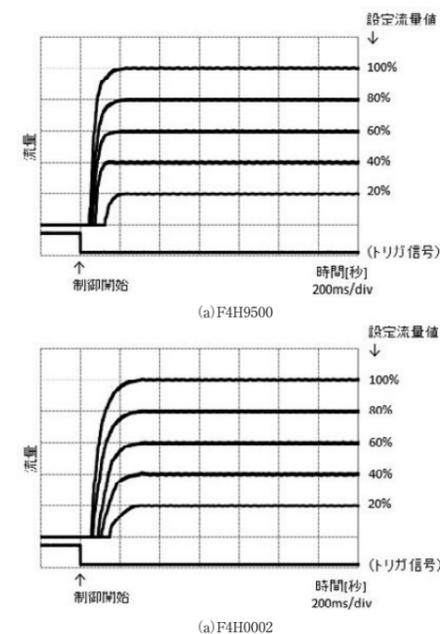


図8 全閉→制御開始時の制御特性

(流体:空気, 動作差圧:0.2MPa, 横軸:200ms/div, 縦軸:20%FS/div)

流量設定はフルスケール流量の20%, 40%, 60%, 80%, 100%の5ポイント、流体は空気、差圧は標準差圧0.2 MPaで行った。すべての設定流量で制御開始から300ms以内に整定していることが分かる。

5.2 耐ノイズ性の確認

図9に示すRF伝導性イミュニティ試験装置にて、形 F4H (電源回路:絶縁)と従来のデジタルマスフローコントローラ (電源回路:非絶縁)それぞれのRF伝導性イミュニティ試験を行い、耐ノイズ性の比較を行った。

<試験条件>

- ・印加条件
周波数範囲:150kHz~80MHz (1%ステップ, 1秒保持)
変調方式 :1kHz 80%振幅変調
印加レベル :3 Ve.m.f
- ・印加箇所 :電源ライン
- ・EUT設定 :SP 50%FS
PV 0.5V出力
- ・判定条件 : (1) 制御流量シフト±2%FS以内 (基準器の0-5V出力で確認)
(2) 0-5V出力シフト±2%FS以内

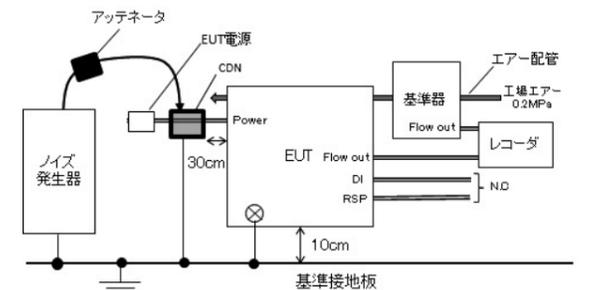


図9 RF伝導性イミュニティ試験装置

図10に形 F4Hと従来のデジタルマスフローコントローラの耐ノイズ性の比較を示す。

非絶縁の従来デジタルマスフローコントローラでは、主なスパッタリング装置のRF電源周波数にあたる13.56MHz付近および高周波数帯にて流量制御が不安定になるのに対し、形 F4Hでは試験周波数範囲150kHz~80MHzの全帯域で安定した流量制御となっている。



図10 耐ノイズ性の比較(a)
(赤:EUT:形F4H 黄:基準器0.5V出力)



(b) EUT:非絶縁の従来デジタルマスフローコントローラ
(赤:EUT 0.5V出力 黄:基準器0.5V出力)
図10 耐ノイズ性の比較(b)

6. まとめ

性能確認試験結果より、形 F4Hは高速応答制御性、耐ノイズ性に優れていることが分かり、FA市場の製造装置や試験装置搭載向けマスフローコントローラとして適していることが確認できた。

7. おわりに

今回は通信方式としてRS-485(CPL通信/Modbus RTU)を採用し標準搭載としたが、市場では他の様々な通信方式を搭載したマスフローコントローラの需要もあり、これらの通信方式への対応が求められている。今後、市場で求められている通信方式の精査を行い、F4Hシリーズの通信方式の拡張を検討していきたい。

<参考文献>

(1)百瀬 修, 伊勢谷 順一, 「デジタルマスフローコントローラCMQシリーズの開発」, Savemation Review 「マイクロフローセンサ」特集号, pp.74~80

<商標>

マイクロフローセンサはアズビル株式会社の商標です。

<著者所属>

館山 哲也 アズビル株式会社
アドバンスオートメーションカンパニー
CP開発部

ビルディングオートメーションシステムの エンジニアリング作業効率化に貢献する 新しいエンジニアリングツールの開発

A New Engineering Tool that Contributes to the Operational Efficiency of a Building Automation System

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

小柳 貴義
Takayoshi Koyanagi

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

勝見 智行
Noriyuki Katsumi

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

木原 知枝
Chie Kihara

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

沖村 俊郎
Toshio Okimura

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

西 賢
Masaru Nishi

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

本多 香織
Kaori Honda

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

清田 英男
Hideo Kiyota

キーワード

savic-net G5, UI, ビルディングオートメーションシステム, BAS, エンジニアリングツール

savic-net™ G5向けエンジニアリングツール (PC Engineering Tool for savic-net G5)は、新たに開発したビルディングオートメーションシステムsavic-net G5を迅速に立ち上げ、調整作業の省力化を目指したエンジニアリングツールである。従来と比較してユーザビリティや開発効率を向上させるため、基本となるユーザーインターフェース (UI) と共通機能をプラットフォームとして定義し、様々なエンジニアリング機能をアプリケーションとして実装した。

The PC Engineering Tool is designed for quick configuration of the newly developed savic-net G5 building automation system, and for more efficient adjustment work. In order to improve the existing level of usability and development efficiency, we defined the basic user interface (UI) and commonly used functions as a platform, and implemented various engineering functions as applications of this tool.

1. はじめに

当社は、図1に示すように1980年頃から現在までビルディングオートメーションシステム (以下、BAS)を開発・製造・販売してきた。初期のBASでは、製品に組み込まれたローダー機能を使ってエンジニアリング作業が完結していたが、1996年以降、製品から分離する形のPC上で動作するソフトウェアとしてエンジニアリングツールを開発してきた。この後、エンジニアリングツールを製品の拡充や機能追加に合わせて開発したが個別のツールとしてリリースしてきた経緯があり、ツールの数が増えていった。このため、従来のエンジニアリング作業は複数のツールを使った複雑な操作や

手順が必要になっており、エンジニアリング作業効率の低下を招いている。さらに、PCがオフィスや家庭に本格的に普及し始めてから20年以上が経過してユーザーのGUIに対する知識も向上しており、独自の画面レイアウトや操作制約がある従来のエンジニアリングツールでは満足を得られない状況が見受けられていた。

そのような状況の中で、新システムであるsavic-net G5の開発が開始され、savic-net G5向けエンジニアリングツールの開発を進めている。

本稿では、savic-net G5向けエンジニアリングツール開発の背景や目的、開発したプラットフォームとアプリケーション実装例、今後の期待効果を紹介する。

1980～1996 マイクコンピュータBACシステム GAVIC	・ローダー
1997～2002 分散型マイクコンピュータBACシステム savic-net	・ローダー ・ファイルジェネレータ ・HMMI
1996～2013 パーソナルコンピュータBACシステム savic-net EV	・BESS (ファイルジェネレータ) ・BACnetエンジンツール ・PC-MMI ・計装エンジンツール ・DDCパネルエディタ ・HMMI
2004～ Web型BACシステム savic-net FX	・savic-net FX向けエンジニアリングツール (BESS, BACnetエンジンツール, 計装エンジンツール, PC-MMI, R4FX2, BACnet Configuration Tool) ・調整支援ツール ・DDCパネルエディタ ・サマリグラフィジェネレータ ・HMMI
2016～ Web型BACシステム savic-net G5	savic-net G5向け エンジニアリングツール

図1 歴代システムとエンジニアリングツール

2. savic-net G5 向けエンジニアリングツールの概要

savic-net G5向けエンジニアリングツールは、下記の機能から構成される。

- メイン画面/共通機能
savic-net G5システム全体の共通設定機能
- BH-1エンジニアリング機能
中央監視装置(以下、BH-1)に関連したエンジニアリング機能、監視用グラフィック作成機能
- WJ-11エンジニアリング機能
BACnetコントローラ(以下、WJ-11)に関連したエンジニアリング機能、制御プログラム設定機能

savic-net G5システム構成とsavic-net G5向けエンジニアリングツールの機能範囲を、図2に示す。

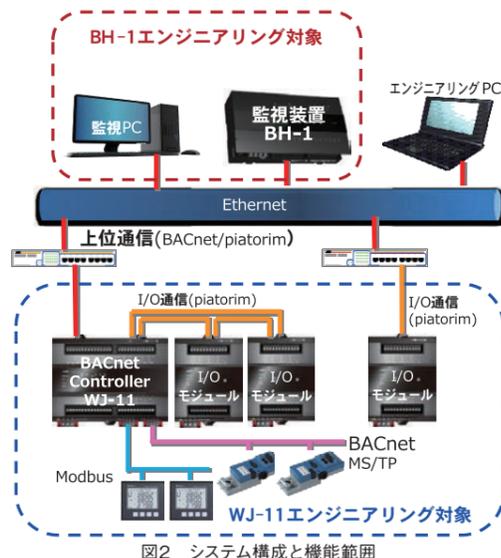


図2 システム構成と機能範囲

3. 開発のコンセプト・目的

savic-net G5向けエンジニアリングツールは、従来のsavic-net™ FX向けエンジニアリングツールに代わり、savic-net G5システムを立ち上げ、調整するための機能を新たに設計したエンジニアリングツールである。開発にあたり、従来から課題とされていたエンジニアリング作業効率の向上が求められている。

savic-net G5向けエンジニアリングツールの代表的なコンセプト・目的を、下記のように定義した。

3.1 UIの統一と操作性の向上、プラットフォームの構築

従来は実現できていなかった「UIの統一と操作性の向上」を実現するため、savic-net G5向けエンジニアリングツールでは全画面で共通となるUIを基本画面仕様として定義し、ツール全体のレイアウトと操作性を統一した。さらに、「入力効率を向上させる」ための共通機能をプラットフォームとして開発し、ツール全体のエンジニアリング作業効率と開発効率の向上を実現する。

基本画面については、4章で説明する。

3.2 オールインワンツール

従来のsavic-net FX向けエンジニアリングツールでは、作業対象の製品や作業目的によって複数のツールを使い分け、ツール間のデータ連携はユーザーがデータファイルを管理する必要があったことに加えて、各ツールのバージョンを合わせる必要があった。savic-net G5向けエンジニアリングツールでは、エンジニアリング作業に必要なすべての機能を1つのパッケージに統合(オールインワン)することにより、操作性の統一とデータファイル管理の一元化、バージョン管理からの解放を実現し、エンジニアリング作業効率の向上を実現する(図3)。

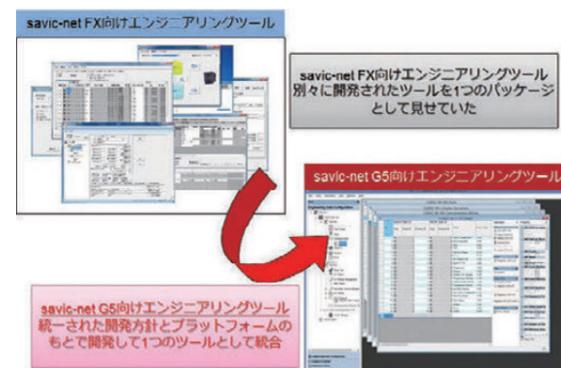


図3 オールインワンツール

3.3 オンラインエンジニアリング

従来のシステムでは、エンジニアリングデータを反映するために必ず機器の動作を停止してリスタートを行わなければならないが、savic-net G5システムではいくつかの設定を除いてリスタートを行わずに反映することが可能になった。savic-net G5向けエンジニアリングツールもオンラインエンジニアリングに対応することで、エンジニアリング作業時間の短縮とシステムの無監視/無制御状態を最小化することを実現している。

4. エンジニアリングツールのプラットフォーム

前述の開発のコンセプト・目的を実現するため、次のソフトウェア構成を定義した(図4, 表1)。

- savic-net G5システムを立ち上げて調整するための機能を実装する「アプリケーション機能」
- アプリケーション機能を実現するために、共通で繰り返し使われるUI部品や機能部品をまとめたフレームワークとサービスから構成される「プラットフォーム」
- OSや実行環境、共通コントロールから構成される「システム」

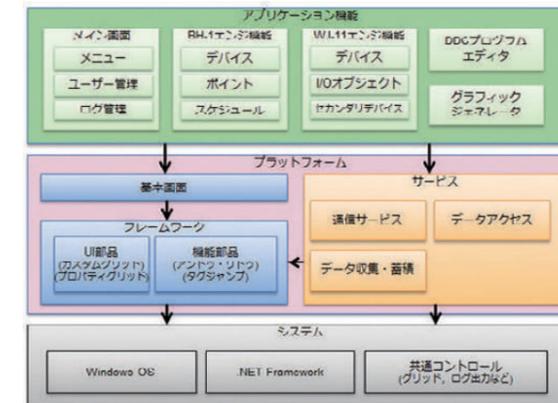


図4 ソフトウェア構成図

表1 ソフトウェア構成説明

分類	内容
アプリケーション機能	メイン画面、BH-1エンジニアリング機能、WJ-11エンジニアリング機能などから構成される。
プラットフォーム	基本画面のほかに、下記の機能から構成される。
フレームワーク	データグリッド、プロパティグリッドなど、共通で繰り返し使われるUI部品/機能部品から構成される。
サービス	データアクセス、通信サービスなどから構成される。
システム	OS/.NET Framework/共通コントロールなどから構成される。

本章では、プラットフォームの基本画面について説明する。

4.1 基本画面の構成

ユーザーが操作に迷わないように、ウィンドウのレイアウトを基本画面として定義した。図5のように基本画面は、メインウィンドウ、アプリケーションウィンドウ、出力ウィンドウから構成される。複数の画面を同時に表示し、切替が容易なマルチドキュメントインターフェース(以下、MDI)を採用した。



図5 基本画面の構成要素

4.1.1 メインウィンドウ

savic-net G5向けエンジニアリングツールを起動すると表示される画面をメインウィンドウと呼び、MDIの親画面となる。savic-net G5向けエンジニアリングツールの主制御(ツールの起動/終了など)、子画面(アプリケーションウィンドウ)の表示制御、メニューペインから目的のアプリケーション機能呼び出すことが可能である。

4.1.2 アプリケーションウィンドウ

コンテンツペイン、操作ペイン、プロパティペインから構成される。コンテンツペインには、多くのユーザーが使い慣れているMicrosoft Excelに似た表形式(データグリッド)でエンジニアリング項目およびデータを一覧表示する。コンテンツペインはPCの画面サイズに合わせて伸縮して表示することが可能だが、エンジニアリング項目が多い画面では横スクロール操作をする必要があり一覧性に欠けるため、プロパティペインにすべての設定項目を縦方向に表示できるようにした。

4.1.3 出力ウィンドウ

メインウィンドウ下部に表示するウィンドウで、任意の処理結果を表示することが可能である。例えば、エラーチェック結果などを表示することが可能である。

4.2 基本画面が提供する便利機能

エンジニアリングツールは、オフィスでの初期データ作成や現場での製品の立ち上げ、立ち上げ後の製品の設定変更など、様々なシーンで使用される。シーンごとの多様なニーズに対応するべく、下記に示すような便利機能を全画面共通の機能として提供することでユーザーが自分の目的に合わせた作業環境を柔軟に構築できるようにした。

4.2.1 データ編集操作と変更箇所の特典機能

基本的なデータ編集操作(コピー/ペースト、アンドウ/リドゥ)とデータ出力処理(xlsx形式のファイル出力)を可能にした。データ変更箇所のセル背景色を変更する処理を提供することで、ユーザーは変更箇所の特典が容易になる(図6)。



図6 変更箇所のセル背景色変更

4.2.2 ユーザーの作業目的や好みに応じた表示設定

savic-net G5システムを構成するBH-1やWJ-11の設定項目のうち、シーンによって注目する設定項目は異なる。例えば、デバイス間の通信設定を確認したい場合には、警報に関する設定項目は見る必要がない。画面サイズの制約により、コンテンツペインに同時表示可能な設定項目数には限りがある。このような場合に、画面に表示する項目を設定によって変更可能とした(図7)。

さらに、スクロールしないように列固定の設定をしたり、設定項目の列位置の変更を可能にした(図8)。



図7 表示項目の設定



図8 列の移動



図9 子画面の切り離し

4.2.3 画面表示レイアウトの変更

MDIにより、ユーザーが作業目的に応じて複数の画面を同時に表示・編集することを可能にした(図9)。



図10 MDI表示

複数の表示モードを、ユーザーが自由に選ぶことが可能である。(1)重ねて表示(2)横に並べて表示(3)縦に並べて表示(4)タブ表示(5)親画面から切り離す/引き込むタブにした場合の表示例を、図10に示す。



図11 タブ表示

複数デバイスの設定を比較する場合や、関連のある複数機能間の設定を同時に参照する場合などを想定し、子画面(アプリケーションウィンドウ)を並べて表示することを可能とした(図11)。



図12 並べて表示

デュアルモニタの環境で使用する場合を想定し、任意の子画面を切り離すことを可能とした(図12)。



図13 子画面の切り離し

5. アプリケーション機能

savic-net G5向けエンジニアリングツールが提供する代表的なアプリケーション機能を表2に示す。

表2 代表的なアプリケーション機能

メイン画面(メインウィンドウ) メニュー管理 ユーザー管理(ライセンス管理) ログ管理 単位設定
BH-1エンジニアリング機能 デバイス設定 ポイント設定 エンジニアリングデータ書き込み グラフィックジェネレータ
WJ-11エンジニアリング機能 デバイス設定 I/Oオブジェクト設定 セカンダリデバイス管理 デバイス間通信 DDCプログラムエディタ

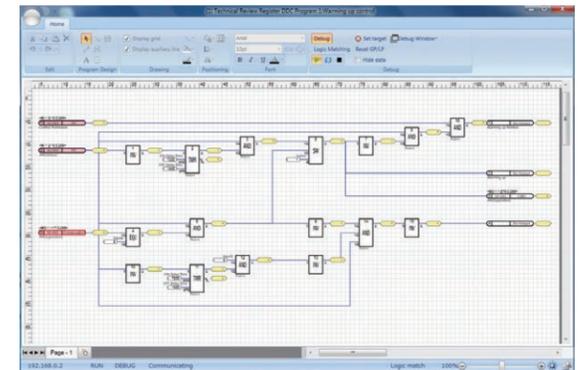


図13 デバッグモード

5.1.2 マスタ/インスタンスのデータ構造

ビル空調においては、オフィスフロアの空調設備を階によらず同一構成・計装とすることで設備設計を効率化している。こうした背景からビル内には同一計装のためのDDCプログラムが多数存在する。同一のDDCプログラムロジックを効率的に作るためには、ロジックの描画情報を一元化しておくことが有効である。一元化することでロジック作成も一度きりで良い上に、ロジック変更時にも描画情報は1つだけなので、それを変更しさえすれば参照先の多数のDDCプログラムロジックが同時に修正されることになる。ただしDDCプログラムを構成するDDCプログラムブロックのパラメータはフロアごとに調整する必要があるため、パラメータの値は別途保持する必要がある。

今回DDCプログラムロジック部分のデータ構造として、図14に示すようなマスタ/インスタンスのデータ構造をとり、共通の設定に関してはマスタ側に、マスタと差のある部分をインスタンス側として持つことにより作業の効率化およびデータ量削減による処理パフォーマンス向上を実現している。

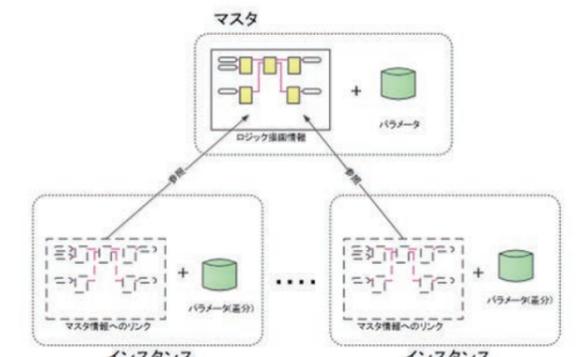


図14 マスタ/インスタンスのデータ構造

本章では、従来は別のツールだったDDC (Direct Digital Controller) プログラムエディタをsavic-net G5向けエンジニアリングツールのアプリケーションとして開発するにあたり、特長と従来から改善・工夫した点について説明する。

5.1 DDCプログラムエディタ

5.1.1 特長と動作モード

コントローラの制御プログラムであるDDCプログラムは、制御演算を行うDDCプログラムブロックを組み合わせることで制御ロジックを構成し制御対象の各種オブジェクトを出力に設定することにより作成する。DDCプログラムエディタでは制御プログラムを構成する制御パーツをロジック図上に配置、結線させ描画しながら制御プログラムを作成する。前述の基本画面UIではなく視認性、可読性の高いロジック図を独自のUIとすることによって従来の設定ファイルでの接続関係を設定するUIより制御ロジック作成の品質が向上する。

また、通常の制御設定を行うエンジニアリングモードに加え、実機の制御動作の検証を行うデバッグモード、実機へのパラメータ変更、動作確認を行うコネクトモードを備え、同一のロジック図上で任意のタイミングでモード変更を可能にして制御プログラムの設計および動作検証が効率よくできるよう操作性を高めている。

デバッグモードの表示例を、図13に示す。

6. プラットフォームの期待効果

エンジニアリングツールプラットフォームの期待効果を、開発効率とユーザビリティの観点から説明する。

6.1 開発効率

基本画面に準拠した画面を開発する場合、図15のように

基本画面を継承して開発すればよい。画面定義ファイルに設定項目を記入して、数行の処理を記述するだけで作成可能である。



図15 基本画面クラスとその継承

データ編集操作(コピー/ペースト、アンドゥ/リドゥ)とデータ出力処理(xlsx形式のファイル出力)もプラットフォームが提供しており、基本的な画面は少ない工数で開発が可能である。

このようにエンジニアリングツールに最適なプラットフォームを定義したことによって、将来の製品拡充や機能追加に伴うsavic-net G5向けエンジニアリングツールの拡張を効率よく実施することが可能となった。

6.2 ユーザビリティ

機能ごとに画面仕様や操作性が異なると、ユーザーはそれぞれ個別に学習する必要がある。savic-net G5向けエンジニアリングツールではExcelでの操作感に近づけたUIに統一したことで、ユーザーは直感的に操作方法が理解できるものになった。savic-net G5向けエンジニアリングツールをリリースする際に初期JOB担当者やトレーニング参加者へのヒアリングを行ったところ、従来と比較してデータ入力作業の効率が向上したとの評価を得ている。

7. おわりに

savic-net G5向けエンジニアリングツールの全体像と、エンジニアリングツールプラットフォームを紹介した。今後は、製品の拡充に追従しつつ、表形式以外の画面仕様を基本画面に取り込んで多様なユーザー要求に対応可能とすること、プラットフォームの機能強化を行い、エンジニアリング効率をさらに改善する各種支援機能の追加を計画している。

<商標>

savic, savic-net, savic-net FX, piatorimは、アズビル株式会社の商標です。
Ethernetは、富士ゼロックス株式会社の商標です。
Microsoft Excelは、米国Microsoft Corporationの米国およびその他の国における登録商標または商標です。
BACnetは、ASHRAEの商標です。

Modbus is a trademark and the property of Schneider Electric SE, its subsidiaries and affiliated companies.

<著者所属>

小柳 貴義 ビルシステムカンパニー 開発本部開発1部
勝見 智行 ビルシステムカンパニー 開発本部開発1部
木原 知枝 ビルシステムカンパニー 開発本部開発1部
沖村 俊郎 ビルシステムカンパニー 開発本部開発1部
西 賢 ビルシステムカンパニー 開発本部開発1部
本多 香織 ビルシステムカンパニー 開発本部開発1部
清田 英男 ビルシステムカンパニー 開発本部開発1部

戸建住宅向け全館空調VAVシステムの開発

A Variable Air Volume Controller for Home Central Air Conditioning

アズビル株式会社 技術開発本部	森川 誠 Makoto Morikawa	アズビル株式会社 技術開発本部	松浦 友朋 Yuhou Matsuura
アズビル株式会社 技術開発本部	地下 久哉 Hisaya Jige	アズビル株式会社 技術開発本部	小貝 和史 Kazufumi Kogai
アズビル株式会社 技術開発本部	上運天 昭司 Shoji Kamiunten	アズビル株式会社 技術開発本部	田中 裕造 Yuzo Tanaka

キーワード

全館空調, 空調制御, ダンパ, 可変風量制御, 省エネ, 快適性, 通信配線, 施工性改善

戸建住宅向け全館空調システム「きくばり™」を対象とし、各室の風量を室温と設定温度に応じて自動制御できるVAV (Variable-Air-Volume) システムを開発した。本システムは、各室風量制御用のVAVダンパ、VAVダンパを制御するVAVコントローラ、各室温度設定用のVAVリモートコントローラ、独自の空調制御アルゴリズムを搭載した空調コントローラから構成され、住宅の熱負荷の変動が大きい場合や居住者の温度ニーズが多様な場合でも快適な温度環境を提供する。加えて従来「きくばり」比25%以上の省エネルギー化を実現した。

Kikubari is a central air-conditioning system designed for individual homes. Its newly developed variable air volume (VAV) system enables each room to automatically receive the appropriate volume of air based on the room temperature and temperature settings. This system consists of a VAV damper (which is controlled by a VAV controller), a VAV remote control as a user interface, and a controller equipped with a proprietary air-conditioning control algorithm. The system is able to accommodate residences that experience large fluctuations in temperature or have diverse needs. The system is now 25 % more energy efficient than the earlier model.

1. はじめに

戸建住宅向け全館空調システム「きくばり」は1システムの空調機を用いて家全体を冷房、暖房、換気、空気清浄、除湿することが可能で、廊下や脱衣所も含めた温度のバリアフリーを実現し、ヒートショックの原因となる住宅内の温度差を軽減できる。一方で、外出からの帰宅直後や個人の好みなどで、特定の部屋のみ空調を少し強くしたいケースや、長期間使用しない空き部屋に対しては冷暖房を停止したいケース、といったライフスタイルに合わせたニーズも顕在化してきている。

これらのニーズに対応するため、オフィスビルの空調制御などで採用されているVAVシステムを住宅向けに応用した、戸建住宅向け全館空調VAVシステムを開発した。本開発においてVAVシステムを住宅向けに適した仕様として実現するために、住宅に設置する際の施工性や、設置後のメンテナンス性も重視した製品設計を行った。

以降、2章で全体のシステム構成、3章以降で機能や施工性、メンテナンス性の向上を支える個々の技術について紹介する。

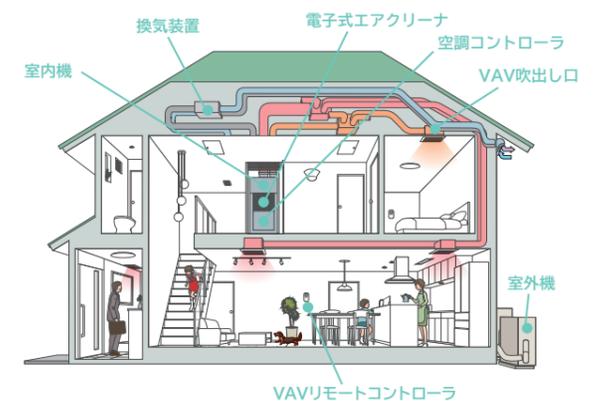


図1 VAV制御 全館空調システム

2. システム構成

2.1 機能概要

今回開発した戸建住宅向け全館空調VAVシステムの住宅内における配置を図1に、またシステム構成機器間の接続関係を示したブロック図を図2に示す。室内機から送出される空調用の空気は、風道となるダクトを介して各部屋のVAV吹出し口から排出される。各VAV吹出し口には、今回住宅向けに新規開発したVAVダンパと、VAVコントローラが設置されている。また、VAVコントローラには、各部屋の温度設定インターフェースや、室温センサを搭載したVAVリモートコントローラ（以下、室内リモコン）を接続できる。通常、室内リモコンは1つのVAV吹出し口につき1台取り付けるが、容積の大きいリビングなど1部屋に複数のVAV吹出し口を設ける場合には1台のリモコンで連動制御することにも対応している。

各室内リモコンでユーザーが指示した設定温度や、温度センサで計測した室内温度は、各VAVコントローラを介して、システム全体の温度要求を集中管理して制御指示を行う空調コントローラに収集される。各室からの熱要求に基づき、本システム用に開発した制御アルゴリズム（3章にて説明）によって、各部屋の温度が設定通りになるよう、各吹出し口のダンパ開度および室内機の温度・風量設定を制御している。

2.2 配線施工性の改善

戸建住宅の全館空調VAVシステム普及には、材料費のコストダウンだけでなく、設置工事での作業性も重要である。特に配線工事のコストダウンを図るために、各コントローラへの電源供給には低電圧の直流給電方式を採用し、天井内へのAC100Vコンセント設置工事を不要とした。また、各VAVコントローラ間の通信には、高い信頼性を要求される工業分野で多くの実績がある、CRC（Cyclic

Redundancy Check)によるエラー検出と、差動伝送方式の物理層を備えた工業用通信方式を採用している。

本システムは住宅内で使用される機器であることを配慮し、安全性への配慮と、放射ノイズを削減するために、回路設計と制御方式の両面からシステム全体の低消費電力化を行っている。

回路設計においては、低消費電力のマイコンと高効率スイッチングレギュレータを採用し、また回路中のスタティックな電流消費を抑えるよう回路を最適化することで、VAVコントローラ基板における定常時の消費電力を削減している。

制御方式による低消費電力化対策としては、システム全体のピーク電力削減に配慮した。VAVダンパを動作させる際にモータ駆動が必要となるが、風圧を受けたダンパを回転させるだけのトルクを供給するためには多くの電流供給が必要である。各VAVダンパが独立動作して非同期で動作するシステム構成では、多数の吹出し口でVAVダンパが同時動作するケースが生じる。この場合では、モータへの駆動電流供給のタイミングが重なってしまい、その結果大きな電流を供給できる電源回路が必要となってしまう。これはコストのみならず、放射ノイズを抑制する観点からも望ましくない。そこで今回のシステムでは、空調の制御周期に大きな影響がないよう通信速度を高速化し、住宅内に存在する複数のダンパ開度を空調コントローラから集中制御（時分割制御）することで、VAVダンパが動作する際のモータ同時動作数を大幅に抑制した。VAVダンパ台数を4台に簡略化したケースでの、ピーク電流抑制効果を図3に示す。この制御方式により、システム全体で要求されるピーク電流値を、非同期制御した場合に比べて約1/5以下に削減した（VAVダンパ接続台数が最大(16台)の場合）。

これらの低消費電力化や放射ノイズ抑制を行うことで、各VAVコントローラ間の電力・制御信号の伝送を、汎用的な屋内配線用4芯ケーブルのみで実現し、配線敷設にかかるコストを削減した。表1に今回開発したVAVシステム仕様を示す。

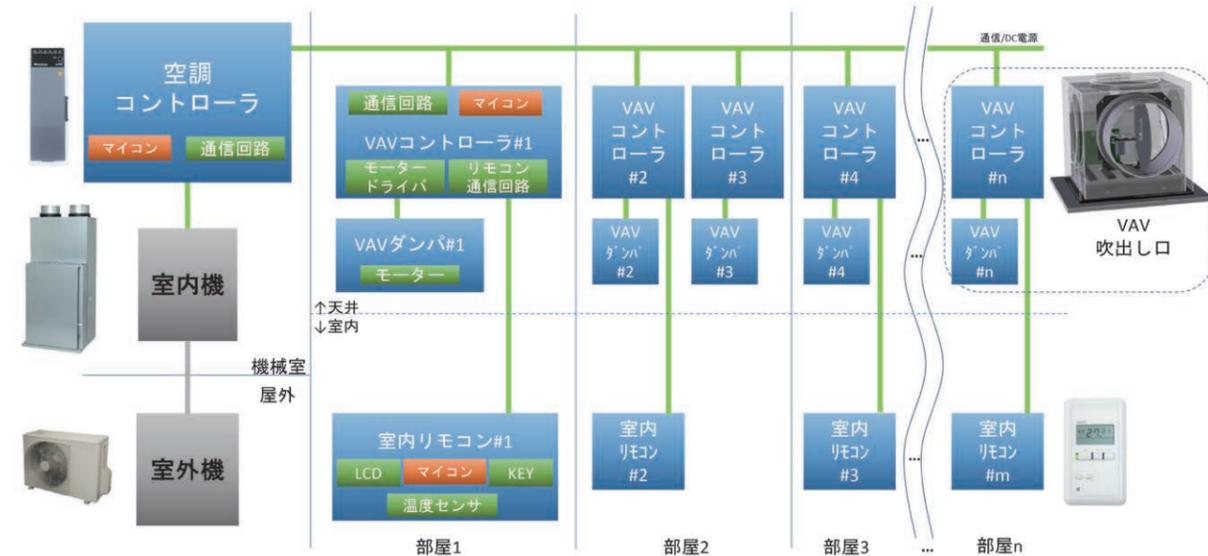


図2 システム構成ブロック図

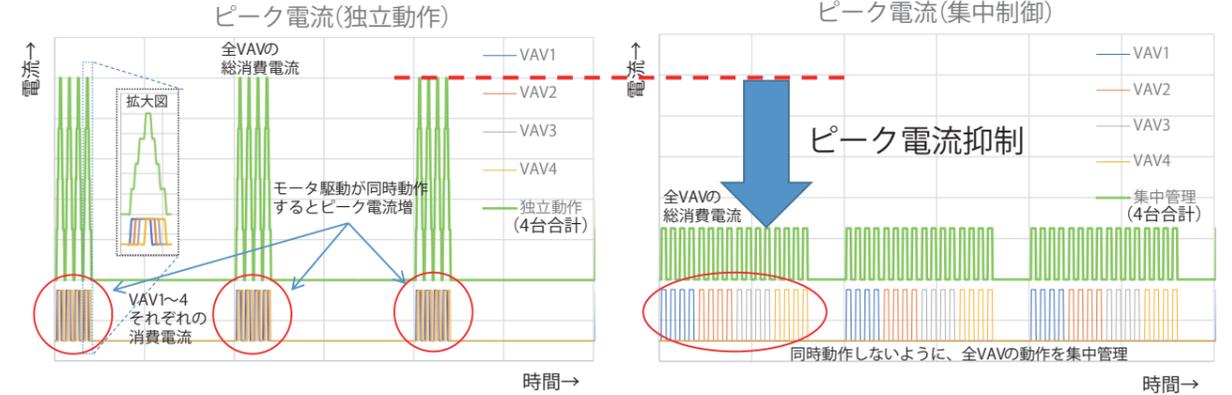


図3 ピーク電流抑制

表1 システム仕様

項目	仕様	
機器 接続台数	吹出し口数	16台 max
	室内リモコン	16台 max
VAV制御電力 (16台接続、空調機電力除く)	15W typ.	
許容総配線長	200m max (巨長40m max)	

3. VAVダンパ

小型・ローコストとメンテナンス時の容易な着脱を実現するために、構造の簡素化を追求したVAVダンパを開発した。

3.1 構造と特長

一般住宅では、ビル空調と異なりメンテナンス時に天井裏へのアクセスが困難であるため、室内からアクセス可能な場所にVAV吹出し口全体を設置する必要がある。よって、天井裏に設置され室内に開口しているVAV吹出し口のダクトカラー（ダクトが接続される管）内にVAVダンパを着脱可能な状態で設置できる構造とした。図4に、ダクトカラーに取り付けられた状態と取り外した状態のVAVダンパの写真を示す。

ビル空調用のVAVダンパでは、一般的にダクトの管壁に回転シャフトを貫通して設置されたパタフライバルブが使用され、ダクトの外側からモータをシャフトに接続して動作させている。しかし、それではダンパの取り外しができないため、ダクトカラー内にネジ2本で着脱できるL字形のベースブラケットを用意し、ダンパ回転ガイドと駆動部などの全部品をそのブラケットに集約して構築するアズビル独自の構成とした。ダンパは、開閉のために90°程度回転できれば十分なので、ダンパ中央部とベースブラケットをヒンジ構造で接続したシンプルな回転ガイドとした。この構造では、従来品のように管壁の回転軸受け部における気密が必要ないため、低摩擦(低トルク)で動作できるというメリットも得られる。また、L字形のベースブラケットのもう1つの辺には、コンパクトなギアヘッド付ステッピングモータを取付け、リンク機構によりダンパを開閉する構造とした。これらの部

品は、できるだけ空力抵抗が大きくなるように配置されている。ステッピングモータは、電圧パルスによるオープンループ制御のみ(角度センサ無し)で容易に正確な角度設定が可能のため、簡素な構成にできる。なお、モータは、風力により発生するダンパトルクに対して十分余裕のある動トルクを持つとともに、開度を変化させるときのみ電力を供給する省エネ駆動をさせるため、電源オフ時にも風力に対してダンパ開度が保持できるようなディテントトルクを持つものを選定した。

さらに、ビル空調用のVAVダンパでは、ダンパ全閉時にシール構造でダンパを完全に閉め切って風量をゼロにするようになっているが、高気密住宅では、非温調時も常に換気が必要であるため、全閉時のダンパ板の外周とダクトカラー内壁との間に所定の隙間を形成することで締切機構を不要にした。これにより、構造の大幅な簡素化が実現できたとともに、誤って全閉してしまったときでも必要な換気量を確保できるフェールセーフ構造も得られている。なお、ローコスト化のため、従来のビル空調用VAV吹出し口で必須となっている風量センサを排除し、次章で説明する風量予測制御に対応している。これらの結果、構成部品が少なく非常にコンパクトでシンプルな構造にすることができ、ダンパ全開時の空力抵抗が小さく、圧損の小さいVAVダンパを実現した。



図4 VAVダンパ

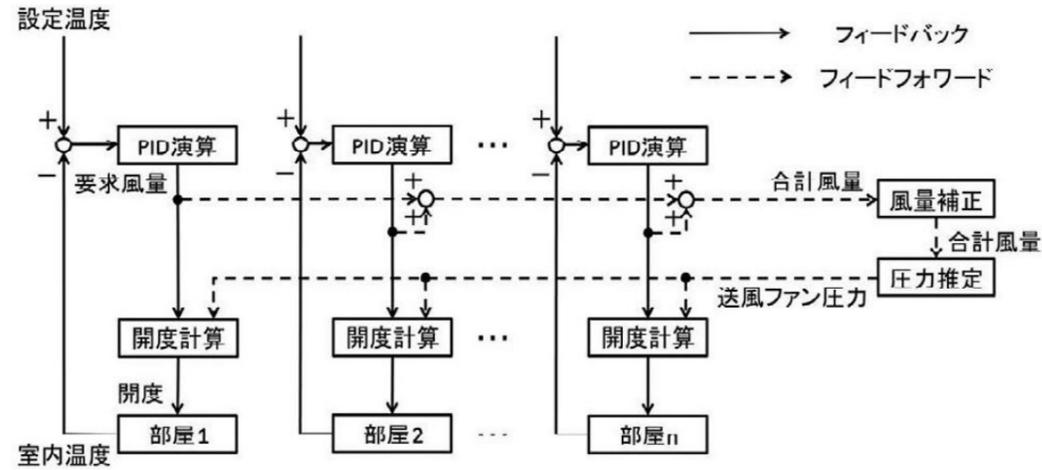


図5 システム構成ブロック図

3.2 仕様

主な仕様を以下の表2に示す。φ150(呼び径)のダクト専用となっており、一般の全館空調住宅に対応した仕様になっている。

表2 ダンパ仕様

接続ダクト	φ150 (呼び径)
風量範囲	10~200 m ³ /h
全開時の圧損	10 Pa以下 @200m ³ /h
使用温度範囲	-5~50℃
使用湿度	10~95%RH 結露なきこと

4. 制御アルゴリズム

本システムではVAVダンパとVAVコントローラから成るVAV吹出し口と室内リモコンを設置することにより、風量の操作と設定温度と室内温度の取得ができるという特長がある。これにより、部屋単位での室内温度の制御を実現した。空調機の吹出し空気をVAVダンパにより適切に分配することで、同じ設定温度を設定した部屋間の温度差をなくすことや、異なる設定温度を設定した部屋間に温度差をつけることができる。また各部屋の熱負荷の変動や設定温度の変更による干渉を抑制し、各部屋に必要な風量のみを供給する事で省エネ性を向上させている。

本章では2つの制御アルゴリズムについて説明する。基本となる温度制御は、風量の変動に対してフィードフォワード補正をしたPID制御(風量予測制御)である。もう1つは、温度ムラの解消と省エネルギーのために温度の高い部屋と低い部屋の空気を交換する制御(循環制御)である。

4.1 風量予測制御

VAVダンパを制御する一般的なビル空調用VAVコントローラは、上位システムから要求風量を入力されダンパ開度を変更することで風量を調整する機能を持つ。VAVダンパの上流静圧が既知であればダンパ開度は一意に定ま

が、上流静圧にはいくつかの変動要因がある。上流静圧の変動がVAVコントローラの風量制御では外乱となる。

ダクトシステム特有の外乱に「他の部屋の風量の変動」がある。空調機から吹出した風をチャンバで分岐して各部屋に送る構造のため、各吹出し口はチャンバを介してつながっている。よって各部屋の風量が他の部屋の風量と相互に干渉しており、熱負荷の変動や設定温度の変更によって1つの部屋の風量に変動があると、その他の部屋の風量に影響が波及する。

また他にも「空調機の風量設定の変更」もVAVコントローラの風量制御の外乱となりえる。「空調機の風量設定の変更」によって空調機の静圧-風量特性が変化し⁽¹⁾、全部屋の風量に影響が生じるためである。

一般的なビル空調用のVAVコントローラでは、これらの影響を取り除くために目標値を要求風量、入力を風量センサの計測風量、操作量をダンパ開度としたフィードバック制御が搭載されている。しかし本アルゴリズムでは各部屋の要求風量から、他の部屋との相互の影響と空調機の風量設定を考慮したフィードフォワード補正を追加して、VAVコントローラに風量フィードバック制御を搭載せずに外乱の影響を取り除いている。

風量予測制御の概要図を図5に示す。風量予測制御は次の3段階からなる。

- (1) 部屋ごとに目標値を設定温度、入力を室内温度、操作量を要求風量としたPID演算を行う。
- (2) (1)で計算した要求風量の合計値から空調機の送風ファン圧力を推定する。
- (3) (2)で推定した送風ファン圧力と(1)で計算した要求風量から、部屋ごとのダンパ開度を導出する。

空調機の仕様より風量設定ごとの空調機の静圧-風量特性は既知であるので、空調機の吹出風量が定まれば送風ファン圧力を計算できる。簡単のため、各部屋の要求風量は空調機の風量供給能力の範囲内にあるとする。(1)で求めた要求風量の合計に応じた風量が空調機から流れたと仮

定すると、空調機の風量設定と静圧-風量特性から室内機の送風ファン圧力を推定できる。一方で、各部屋の要求風量が空調機の風量供給能力の範囲を超える場合は、合計風量を空調機の風量供給能力の上限値以下に収まるように補正して同様の計算を行う。この送風ファン圧力の推定で「他の部屋の風量の変動」と「空調機の風量設定の変更」の影響を、以降のダンパ開度の計算に反映している。

VAVダンパの各開度における静圧-風量特性は、既知である。VAVダンパの静圧-風量特性を開度ごとに近似することで、VAVダンパの抵抗-開度特性を求められることができる。室内機の送風ファン圧力と要求風量とダクト抵抗からVAVダンパに要求される抵抗は求められるので、VAVダンパの抵抗-開度特性より、要求風量を実現するダンパ開度が導出できる。

風量予測制御の例を図6に示す。部屋Aが温度達成したため風量が減少した場合の動作を示している。部屋Aの要求風量が減少することにより、VAVダンパは閉まり、空調機の送風ファン圧力が増加することが推定できる。圧力の増加が推定されたため、他の部屋はVAVダンパを閉めて風量を維持している。

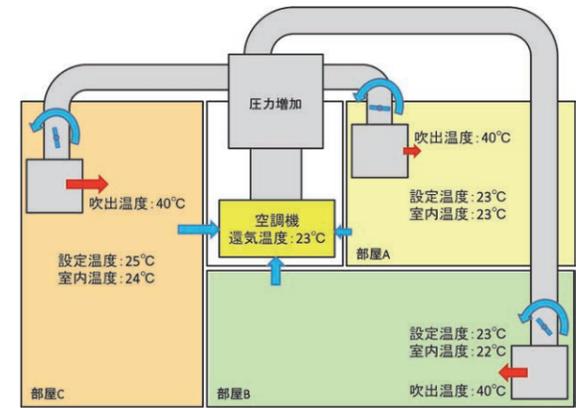


図6 風量予測制御の例

風量予測制御の効果確認を行った結果を表3に示す。これは、対象部屋の要求風量を60 m³/hに固定し、他の部屋の要求風量を変動させた際に導出されるダンパ開度と測定風量を示している。対象とする部屋以外の合計要求風量が減少するとVAVダンパが閉じ気味になり、風量を維持する動作をしていることが分かる。

表3 風量予測制御で導出されるダンパ開度と測定風量
(対象部屋の要求風量を60 m³/hに固定した場合)

対象部屋以外の合計要求風量[m ³ /h]	ダンパ開度[°]	測定風量[m ³ /h]
960	49	59
780	44	55
690	42	59
510	38	56
420	37	69
240	35	70

4.2 循環制御

循環制御とは、空調機の熱交換を用いずに、室内温度よりも設定温度に近い空気を部屋に送り込むことにより室内温度を制御する方法である。空調機のヒートポンプを稼働させないので省エネルギーである。

暖房を例に原理を説明する。暖房では室内温度よりも温度が高い空気(暖気)を供給して対象の部屋を暖めている。通常の個室エアコンにおいて、暖気は熱源機によって作り出さなければ存在しない。しかし全館空調においては、暖気が空調機の近くや他の部屋に存在する場合がある。これは各部屋の設定温度の違いや日当たりなどの影響によって部屋ごとに温度状況が異なるためである。この他の部屋に存在する暖気を対象の部屋に供給すれば、空調機の熱交換を用いずに室内温度を上げることができる。また日当たりなどの影響によって室内温度が設定温度を超過する部屋では、より設定温度に近い温度の空気を供給することで、室内温度の超過を抑えることができる。このような熱の循環は個室エアコンではできないメリットである。

循環制御の例を図7に示す。部屋Aは室内温度24度で設定温度23度を超過しており、部屋Bは室内温度22度で設定温度23度を未達である。ここで空調機の還気温度が23度と双方の部屋の設定温度に近い温度である。そこで、空調機から23度の空気を双方の部屋に送り、空調機を経由して2つの部屋の空気を循環させる。これにより部屋Aの室内温度は下がり、部屋Bの室内温度は上がり、室内温度が設定温度に近づく。

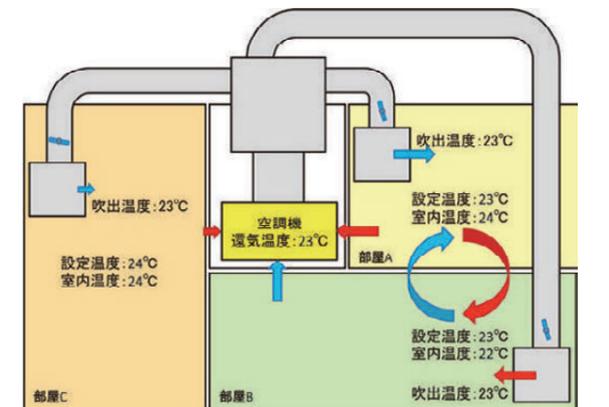


図7 循環制御の例

5. 快適性・省エネ性の検証

今回開発したシステムの検証は、まず、外乱の少ない屋内仮設ブース環境で基礎実験を行った上で、実際の住宅と同じ建築構造を持つazbilグループの研究施設「空気と暮らしの研究所“azbilハウス”」(図8)⁽²⁾に、本VAVシステムの関連機器をすべて設置してデータ計測および各種機能テストを行った。快適性、省エネ性の観点から、以下に検証実験結果を示す。



図8 azbilハウス

5.1 快適性

快適性の評価には様々な手法があるが⁽³⁾、特定のエリアに対してユーザーの希望した温度条件を、短時間で正確に実現できることは快適性が高いと考えられる。ここでは全館空調VAVシステムの特長である、個室ごとの温度を変更できる機能について検証した実験結果を示す。全館温度一定の状況から、特定の1部屋だけ設定温度を一定時間ごとに変更していった場合の、各部屋の温度計測結果をグラフ化したものを図9に示す(部屋間の温度差は、ヒートショックを生じない範囲を想定している)。

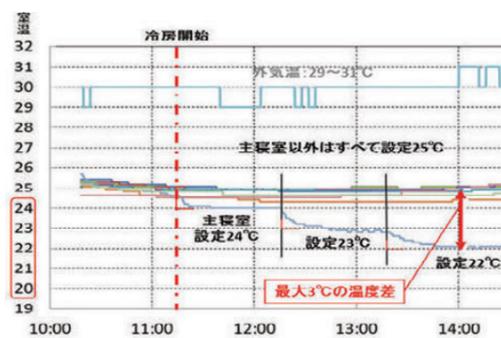


図9 VAV全館空調の快適性検証

この結果より、特定の1部屋(主寝室)だけ、 -1°C ごとに温度設定通りに変更される一方、他の部屋は当初の設定温度付近を維持していることが分かる。また必要最小限の部屋容積のみを空調するため、一般的な全館空調の温度変更能力(約 $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$)より短時間で、ユーザーの望む快適な設定温度に変更できる性能を有していることも確認できる。

5.2 省エネ性

全館空調VAVシステムの特長として、一部の部屋を省エネ運転にすることや、未使用の部屋を温調OFFすることが可能である。これは空調電力の省エネ化に大きく貢献できる。この省エネ効果を確認するために、一般家庭での通勤・外出・就寝などの日常行動パターンを用いて、従来の全館空調システムと、今回開発した全館空調VAVシステムで個室ごと省エネ設定を行った場合との消費電力比較を行った。使用した一般家庭の日常行動パターンとしては、建築環境・省エネルギー機構(IBEC: Institute for Building Environment and Energy Conservation)が定める、省エネ法における「住宅事業建築主の判断基準」⁽⁴⁾にて定義された「部分間欠運転スケジュール」を用いた。この結果を図10に示す。図中A棟が従来の全館空調システム、B棟が今回開発した全館空調VAVシステムの結果を示し、全館空調VAVシステムのほうが、約33%の省エネルギーを実現している。

VAVシステムを搭載していない従来の全館空調では、全館一括のスケジュール設定が可能なものもあるが、個室ごとのスケジュールは実現できないため、居住者ごとに個人差のある空調ニーズには対応できなかった。今回開発したシステムでは、各部屋ごとに一時的に空調を弱めるECOボタンや、部分的に空調停止するための空調オフ機能を実現している。この結果、エアコン同等の簡単な操作性をユーザーに提供でき、全館空調の快適性と省エネ性を向上させている。なお、空調利用の少ない時期も配慮した、通年の電力シミュレーション(AE-Sim/heat使用)では、全館空調VAVシステムは従来の全館空調と比較して、平均約25%以上の削減が見込まれる^{注1}。

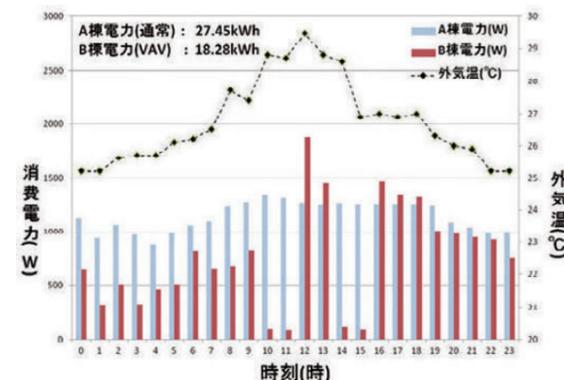


図10 VAV全館空調の省エネ性検証

注1 [試算条件] AE-Sim/heatによる当社モデルハウスでの試算値、VAVなし:全館連続運転⁽⁴⁾、VAVあり:部分間欠運転⁽⁴⁾(非空調室は設定温度 2°C 緩和、全館非空調時は換気のみ運転で消費電力80W)、拡張アメダス気象データ(神奈川県辻堂)を使用、内部発熱: $4.65\text{W}/\text{m}^2$ (顕熱のみ)、COP値は当社きくばりsシリーズ4馬力定格値

6. おわりに

全館空調に対するさらなるニーズに応えるために、戸建

住宅向け全館空調VAVシステムを開発した。これまでの全館空調では不可能だった個室ごとの温度制御の実現により、

①部屋ごとの温度設定変更による快適性向上、②不在時や未使用の部屋を空調抑制することによる省エネ効果というユーザーメリットを簡単な操作で提供可能にした。一方、多数の部屋を空調制御できる仕組みを提供することから、例えば、より高度なスケジュール運転を、簡単に分かりやすく設定できるユーザーインターフェースのニーズ増加も予想される。今後の計画としては、近年低価格化の著しいタブレット端末等を活用して、優れた操作性を提供しつつ、さらなる快適・省エネルギーを実現するためのシステム拡張を検討している。

<参考文献>

- (1)三枝隆晴 他, 中小規模オフィスビルの空調ニーズに応えるセル型空調システムの開発, azbil Technical Review, Apr.2016, pp.47-53
- (2)岩田昌之, 暮らしのさらなる安心・安全・快適を目指して~azbilハウスでの技術融合, azbil Technical Review, Apr.2013, pp.82-86
- (3)田辺新一, 温熱環境の快適性評価, 日本物理学会誌, 1999, pp.440-448
- (4)住宅事業建築主の判断の基準におけるエネルギー消費量計算方法の解説, 財団法人 建築環境・省エネルギー機構 (IBEC), 2009, p53

<商標>

「きくばり」は、アズビル株式会社の商標です。

<著者所属>

森川 誠	技術開発本部センシングデバイス技術部
松浦 友朋	技術開発本部センシングデバイス技術部
地下 久哉	技術開発本部センシングデバイス技術部
小貝 和史	技術開発本部センシングデバイス技術部
上運天 昭司	技術開発本部商品開発部
田中 裕造	技術開発本部商品開発部

快適・省エネヒューマンファクターの技術開発 —居住者満足感に基づく室温変動制御

A Technology that Contributes to Office Workers' Well-Being and Conservation of Energy in Buildings: Fluctuating Air Temperature Control Based on a Study of Human Response to the Indoor Environment

アズビル株式会社 技術開発本部	三浦 眞由美 Mayumi Miura	アズビル株式会社 技術開発本部	上田 悠 Haruka Ueda
アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	水谷 佳奈 Kana Mizutani	アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	原山 和也 Kazuya Harayama
アズビル株式会社 ビルシステムカンパニー	太宰 龍太 Ryota Dazai	慶應義塾大学	伊香賀 俊治 Toshiharu Ikaga

キーワード
快適性, 知的生産性, 環境満足度, 室温変動制御, アクチュエータゲイン連動制御

室温変動環境に着目し、温冷感／満足感／ストレス／疲労といった人的要素(ヒューマンファクター)と室内環境との関係について被験者実験を行なった。その結果、室温を26℃～28℃で周期的に変動させる室温変動環境が、室温26℃一定環境と同等以上の居住者満足度を実現できること、また、室温一定環境と比べて室温変動環境では被験者のストレス蓄積が抑制できることが分かった。室温変動を実オフィスで実現する際に室温設定値の追従性を向上させるために考案したAG (Actuator Gain)連動制御についても紹介する。

As part of our research an experiment was conducted to examine the relationship between the indoor thermal environment and participants' psychological and physiological responses such as thermal sensations, thermal dissatisfaction, stress levels, and fatigue levels. As a result, it was discovered that the thermal dissatisfaction rate under cyclic fluctuating temperature control between 26 °C and 28 °C was similar to or lower than that under constant temperature control at 26 °C, and that stress levels, measured by the concentration of salivary alpha-amylase, were significantly reduced in environments with fluctuating temperatures compared with constant temperatures. An actuator gain (AG) cooperative control was designed to improve the tracking performance of the fluctuating temperature control for use in applications for offices. Its features are also described.

1. はじめに

資源が乏しく、少子高齢化の進む日本ではホワイトカラーを含む労働者の生産性向上は大きな課題である。オフィス空間の快適性や環境満足度はオフィスワーカーの知的生産性に影響を及ぼす要因であり、室内環境と知的生産性の関係については国内外で様々な研究が行なわれている。例えば、室温上昇に伴って作業効率の低下がみられたといった報告⁽¹⁾や、温熱環境への不満が知的生産性低下

と関連づけられた⁽²⁾、環境満足度が高いほど作業成績^{注1}が高く疲労が少なかった⁽³⁾といった報告があり、温熱環境への不満が生産性を低下させることは神経行動学の分野でも示されている⁽⁴⁾。オフィスの知的生産性向上のためには、居住者の温熱環境への満足度を向上させることが重要な施策の1つであると言える。

一方で、2015年の第21回気候変動枠組条約締約国会議(COP21)において温室効果ガス排出削減等の新たな国際的枠組みが採択される(パリ協定)など、エネルギー消費量

やCO₂排出量の低減は喫緊の課題であり、これらへの配慮なしに温熱環境を論じることはできない。

このような背景のもと、経済産業省の省エネルギー技術戦略2016⁽⁵⁾において「快適・省エネヒューマンファクター」が重要技術として特定された。「省エネルギーと快適性、知的生産性を両立する必要性」が示され、居住者の快適性や知的生産性にかかわる環境要素や人的要素に基づいて制御技術などを駆使する実現技術が求められている。

筆者らは、このような快適性／知的生産性と省エネルギーを両立する空調の実現技術について、長年研究開発を実施しており、その1つとして、室温を周期的に変動させる室温変動環境に着目してきた。本稿では、室温変動環境の有効性について、知的生産性を支える居住者特性(環境満足度、ストレスなど)を中心に検証した被験者実験の結果⁽⁶⁾を報告する。併せて、室温変動環境を実オフィスの空調システムで実現するために検討した制御技術についても報告する。

2. 室温変動環境下の居住者特性

オフィス空調では、室温を一定とする制御が広く普及している。しかし、一方で、室温を変動させることで人の知的生産性にプラスの影響を与える可能性のあること⁽⁷⁾や、一定の変化率以内の室温変化は問題なく受け入れられる⁽⁸⁾といった研究報告がある。また、筆者らの研究において、同じ室温の範囲でも温度上昇が穏やかであるほど温熱環境に対する不満が減少すること⁽⁹⁾、時間経過に伴って通常観察される知的生産性の低下が室温変動下では抑制できる可能性⁽¹⁰⁾を示している。

これらの研究結果を踏まえ、「夏季冷房時に室温変動制御を導入した実オフィスの1日」を想定して被験者実験を行ない、室温一定環境と室温変動環境において温冷感／満足感／疲労感(心理)やストレス(生理)がどのように異なるかを比較した。

2.1 被験者実験

2.1.1 実験概要

アズビル(株)藤沢テクノセンターの温熱環境実験室において8月の連続した4週間の土日で実験を実施した。図1に実験室概要と実験風景を示す。被験者はBMI (Body Mass Indices, BMI [kg/m²] = 体重 [kg] / (身長[m])²)が18.5 < BMI < 24の標準体型の大学生12～16名とした。温冷感に影響する着衣は、典型的な夏季着衣量である0.5 [clo]程度に統一した。メインチャンバ内の被験者座席位置と室内環境の計測点とを図2に示す。メインチャンバは6つのVAV (Variable Air Volume)ゾーンで室温制御され、温度制御可能な床下／天井／4方位の隣室チャンバに囲まれる構造となっている。

2.1.2 実験スケジュール

図3に実験日の1日のスケジュールを示す。被験者はオフィスワーカーの通勤を模擬して8:45に藤沢テクノセンターに

到着し、安静時間を経て9:00にメインチャンバ内の各々の座席に着席する。リラックスした状態で1日の説明を聞いた後、当日の体調や前日の睡眠、朝食などに関するアンケートおよび体温測定などを行ない、体調が正常な状態であることを確認する。その後、テキストタイピングなど、一般の執務を模擬する作業を行なうセッションを午前1回、午後2回実施する。各セッションは2時間とし、セッションの前後には5～10分の計測時間を設けて、心理状態を調査するアンケートや生理計測(2.1.4 (2)参照)を行なう。セッション1と2の間に昼食時間を50分、セッション2と3の間に休憩時間15分を設けた。昼食は同じ弁当、飲み物は常温のお茶500mlペットボトル2本までに統一した。

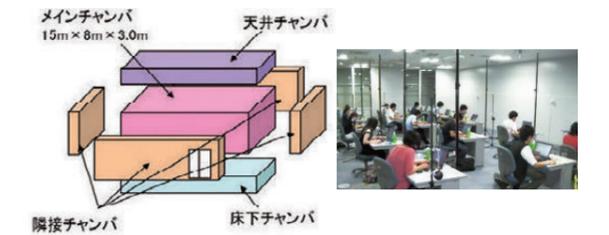


図1 実験室と実験風景

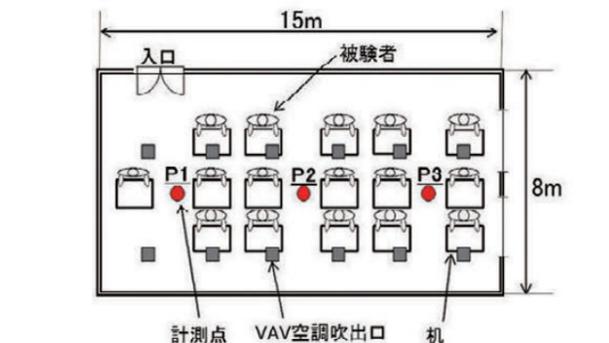


図2 被験者位置および計測点

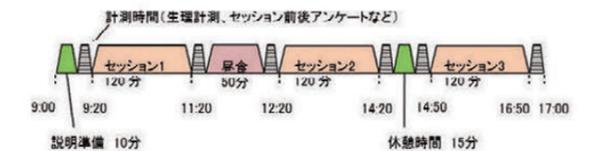


図3 実験スケジュール

2.1.3 実験ケース

実験ケースは、室温一定3ケース(26℃一定、27℃一定、28℃一定)と、室温変動2ケース(27℃変動、28℃変動)とし、室温変動ケースの上昇速度、下降速度はそれぞれ、40分および20分とした(図4)。室温変動は各ケースの平均室温に着目し、27℃±1℃(26℃～28℃)変動ケースを「27℃変動」、28℃±1℃(27℃～29℃)変動ケースを「28℃変動」としている。

比較用として設定した室温変動の1ケース(28℃変動)を除き、実験ケースは26℃～28℃の範囲内としている。26℃、28℃、および、室温変動の上昇／下降速度は以下のような点を考慮して決定した。

・室温26℃
 快適性重視の室温設定値として実オフィスで採用される代表値である。また、夏季に藤沢テクノセンター内のオフィス建物で350名以上の社員を対象として実施された多和田らの研究⁽¹¹⁾において、作業効率が最大となった25.7℃に近い値である。

・室温28℃
 建築物における衛生的環境の確保に関する法律(通称・ビル管理法)で許容される管理基準の上限値であり、省エネ重視の室温設定値として実オフィスで選択可能な値である。

・室温上昇速度:40分で26℃から28℃への上昇
 上昇速度が遅いほど温熱環境不満が減少する⁽⁷⁾一方、設定値緩和による省エネ効果は減少する。温度上昇速度はASHRAE standard 55-2013に準拠する範囲^{注2}内の上限付近とした(Rohlesらの研究⁽⁶⁾)でも問題なく受け入れられた範囲。

・室温下降速度:20分で28℃から26℃への下降
 速やかな熱の除去が快適性を高める⁽¹²⁾。通常、VAV空調システムで28℃から26℃に安定して室温を下げるには、室内の熱抵抗や内部発熱の影響で10~15分程度を要することを考慮して下降速度を20分とした。

室温変動ケースでは、120分のセッション内に60分周期の室温変動が2周期連続で繰り返される。被験者は1日3回のセッションで合計6時間、6周期の室温変動に暴露される。

なお、26℃~28℃の温度範囲は湿度以外の要素を夏季オフィスの典型的な値(湿度50 [%], 風速0.1 [m/s], 平均放射温度 = 空気温度, 着衣量0.5 [clo], 代謝量1.1 [met])とすると、PMV (Predicted Mean Vote)0.20~0.87に相当する。

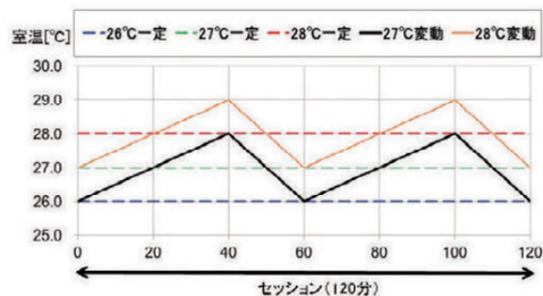


図4 実験ケース

2.1.4 計測項目

(1) 物理計測

図2に示した計測点P1, P2, P3において、高さ1.1mの空気温度(以下、温度)、グローブ温度、相対湿度、風速、CO₂濃度を計測した。

(2) 被験者の心理および生理量計測

居住者の知的生産性への影響要因である心理量(アンケートによる温冷感、満足感、疲労感)と、生理量(ストレス値)の調査を行なった。

① 心理量の計測

・温冷感、温熱環境の満足感
 図5に示すアンケートをセッション時間内に10分間隔で実施した。被験者は図5を見ながら、用紙左手の解答欄に数値を記入した。

・疲労感

日本産業衛生学会産業疲労研究会の「自覚症状調べ」を各セッション前後の計測時間(図3)で実施した。

② 生理量の計測

・ストレス値
 人体の周囲環境が刻々と変化する室温変動環境と室温一定環境とのストレスの違いを定量的に調査する目的で、ストレスマーカーと呼ばれる唾液アミラーゼを計測した。唾液アミラーゼとストレスの関係はすでに多くの研究が発表されており、科学的根拠が蓄積されている⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。各セッション前後の計測時間(図3)に計測を行なった。

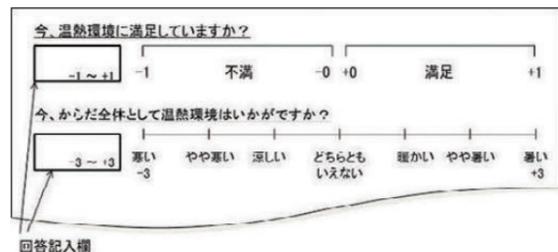


図5 被験者アンケート

2.2 実験結果

本章では、2.2.1で実験環境(物理計測結果)について述べたあとに、この環境下で得られた被験者計測結果およびエネルギー消費量について、室温変動環境と室温一定環境との比較を行なう。

2.2.1 実験環境

図6に各実験日におけるフロア内の平均温度(P1, P2, P3の1.1m高さ平均値)を示す。27℃変動ケースの2日間のデータは(1), (2)として各々を示している。28℃変動はケースの温度上限値29℃よりやや高めであったが、室温変動の上昇下降速度を含め、ケース設定に基づいた環境を構築できていることを確認した^{注3, 注4}。湿度は38~48%, 風速は0.15m/s以下であり、ケースによる大きな差異はなかった。また、CO₂濃度は平均600ppm、卓上照度(代表点数点で計測)は平均700lxであり、適切な範囲に保たれていた。なお、高さ1.1mの空気温度と、高さ0.1mおよび0.6mの空気温度との差異は最大で0.6℃であり、上下温度差が小さいことを確認している。

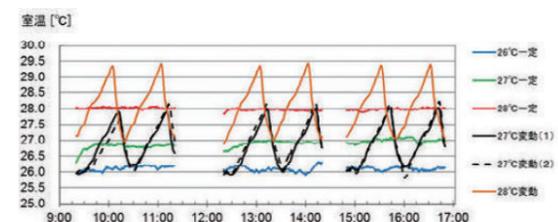


図6 各実験ケースの平均室温(1.1m)の推移

2.2.2 温冷感

アンケート(図5)の温冷感回答値TSを、寒い側(TS<-0.5)、どちらでもない(-0.5≤TS≤0.5)、暑い側(TS>0.5)の3群に分けて、温冷感割合の日平均(3セッションの平均)を求めた(図7)。

27℃変動ケースではセッション時間の半分で27℃以上となるにもかかわらず、暑い側/寒い側の温冷感割合がともに、26℃一定ケースと27℃一定ケースの間の数値をとった。また、どちらでもない(暑くも寒くもない、温冷感中立)割合は、65%および71%と、26℃一定および27℃一定と同等以上の値となった。

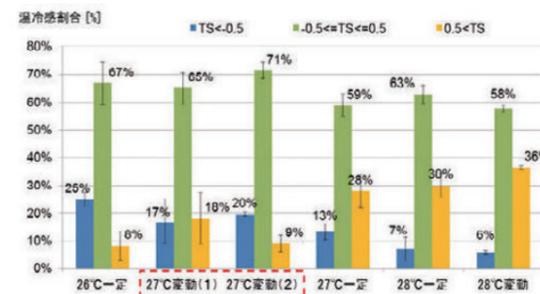


図7 温冷感割合(日平均比較)

2.2.3 満足感

図8に満足感のアンケート結果から算出した不満申告者率の日平均(3セッション平均)比較を示す。一定ケース同士を比較すると、26℃から28℃と温度が上昇するに従い、不満申告者率が増加する傾向が確認できる。温度帯の高い28℃一定および28℃変動(27℃~29℃)では不満申告者率はおよそ20%を超え、居住者の不満が大きいたことが分かる。一方で、27℃変動(26℃~28℃)では、不満申告者率が最も低い値となり、変動周期の1/2の時間帯で27℃以上となるにもかかわらず、26℃一定と同等以上の満足感を実現できていることが分かった。

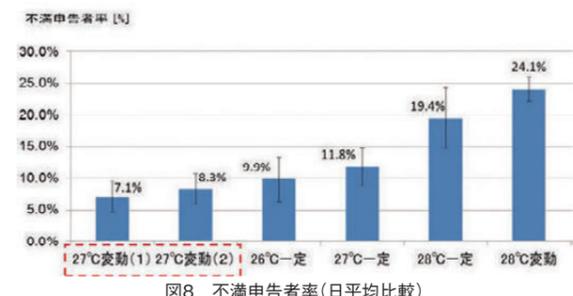


図8 不満申告者率(日平均比較)

2.2.4 ストレス値

図9にストレス値を示す唾液アミラーゼ活性濃度の日平均(3セッション平均)を示す。ケースごとの差異よりも、室温変動ケース群と室温一定ケース群の差異が大きく、室温一定群より室温変動群のストレス値が少ない傾向が見られた。この差異に着目し、各ケースを室温変動と室温一定の2群に分類して時間推移を見ると(図10)、室温変動群と室温一定群のストレス値の差は時間経過に伴って増大する傾向が確認できた。ストレス値は通常、疲労蓄積等で時間経過に伴って増加すると考えられるが、室温変動群のストレス

値はほぼ一定を保っており、ストレス値の増加が抑制されることが分かった。午後のセッション2, 3の後では有意率pが共に0.02以下となり、有意差を確認できた。なお、図10の分析では、①前日の飲酒あり、②朝食をとっていない、③朝のストレス値が高い(>40kU/L)、④日内計測に欠損(遅刻、計測異常等)がある、のいずれかに該当する被験者をすべて除外している。

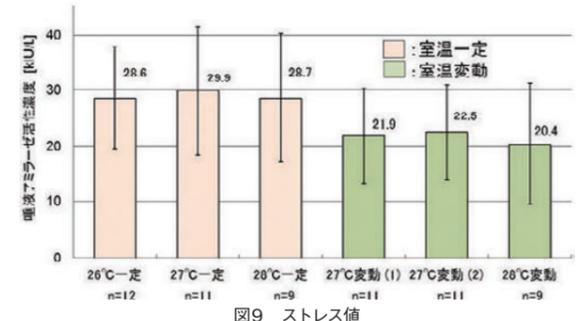


図9 ストレス値

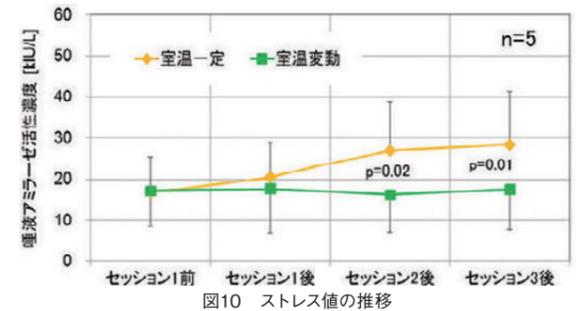


図10 ストレス値の推移

2.2.5 疲労感

自覚症状調べによる疲労訴え割合を図11に示す。ストレス値の評価と同様に、室温変動と室温一定の2群の差異に着目して比較を行なった。室温変動の疲労訴え割合は室温一定と同等かやや少ない傾向が見られた。なお、日内のアンケート回答に欠損(遅刻、早退、未回答など)がある被験者は除外して分析した。

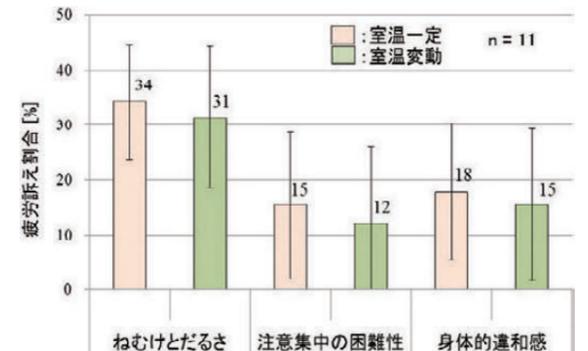


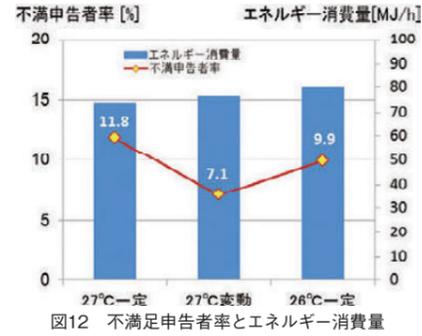
図11 疲労訴え割合

2.2.6 エネルギー消費量

図12に本実験のエネルギー消費量と2.2.3で示した不満申告者率の関係を示す。算出したエネルギー消費量は空調機熱量とファン動力の合計とし、BEMS (Building Energy Management System)で収集した実測データを

基に、除湿再熱に要したエネルギーを除外した後、外気条件の違いを補正している。また、27℃変動のデータは外気条件の近い代表日1日のデータと比較した。

27℃の室温一定環境から居住者の不満解消を狙って室温設定値を変更する場合、26℃に設定値変更するよりも、27℃変動環境とする方が合理的であることが分かる。



2.3 被験者実験のまとめ

被験者実験により以下の結果が得られ、室温変動環境の有効性を確認することができた。

- ・ 27℃変動(26℃~28℃)の室温変動環境は、26℃一定を含むすべてのケースの中で不満申告者率が最も低く、高い水準の居住者満足度を実現できることが分かった。「暑い」側や「寒い」側の温冷感割合にも顕著な増加は見られなかった。

- ・ 室温変動環境では、室温一定環境と比べ、被験者のストレス蓄積が抑制されることが分かった。ストレス値および疲労訴え割合の日平均は、室温一定環境と同等かやや少ない結果であった。

- ・ 27℃変動の空調消費エネルギーは26℃一定と27℃一定の間となり、居住者満足感と消費エネルギーの両立という観点で、27℃変動の有効性を確認した。

3. 室温変動に適した空調制御技術

本章では、前述した室温変動環境を実オフィスで実現するための制御手法について述べる。

3.1 実オフィスでの室温変動の課題

オフィスを主とする一般的な建物内の温熱環境は、1日、1週間、1カ月などの単位で比較的穏やかに変化する。また、従来主流の室温を一定とする制御(室温一定制御)の安定性を確保するためにも、空調の制御ロジックやパラメータは一般的に安定性志向で決定されることが多い。これにより、室温設定値を図4の室温変動ケースのように設定しても、安定性重視の制御応答によって、数十分単位の周期や所定の変動幅で室温を変動させることが困難な場合がある。そこで、現行の一般的なシステムで室温設定値への追従性を向上させる新たな制御手法として、アクチュエータゲ

イン連動制御(AG連動制御)⁽¹⁵⁾を開発した。

3.2 一般的なVAV(Variable Air Volume)空調システム

図13に一般的なVAV方式の空調システムの例を示す。空調制御単位である各VAVゾーンの室温制御ループは、各ゾーンに投入する空調空気(給気)の風量を制御するフィードバック制御(以下、FB制御)ループである。VAVコントローラは、各ゾーンの室温設定値SP_rと計測室温PV_rの偏差に応じた要求風量になるようにVAVユニットのダンパ開度を制御する。ここで、室温PV_rと室温設定値SP_rとの偏差が所定の時間を経過しても解消されない場合に、冷房/暖房の能力増減要求が各VAVコントローラから空調コントローラに送信される。空調コントローラは、これらの能力増減要求に基づいて、給気温度の変更判断と新たな給気温度設定値SP_sの決定を行ない、給気温度設定値SP_sと給気温度PV_sとが一致するように冷水弁の開度を変更する(給気温度制御)。

以上のように、一般的なVAV空調システムでは、室温(風量)制御と給気温度制御は段階的になっており、風量による室温のFB制御が優先される。室温変化に即効性のある給気温度の変更は、室温一定制御の大きな外乱となり得るため、一般に頻繁には行わない。

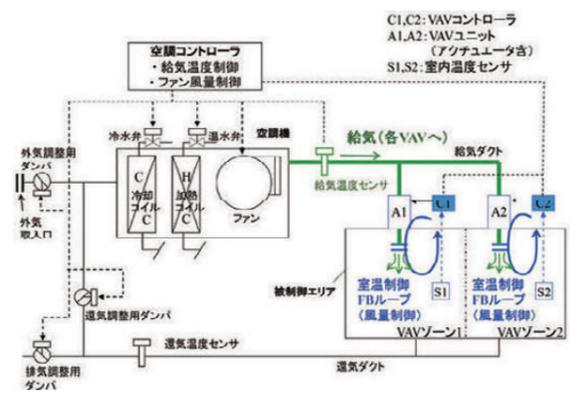


図13 VAV空調システムの一般例

3.3 AG (Actuator Gain) 連動制御の概要

本節では、室温変動環境を形成するために、室温(風量)制御と同時に給気温度も積極的に変更するAG連動制御について述べる。

図14 上に、一般的なFB制御のブロック図例を示す。図中では、FB制御の演算ブロックからみた制御対象のゲインK_pを、実際に制御したい被制御物のゲインK_mとアクチュエータのゲインK_gに分離している。アクチュエータゲインK_gの変化で生じる制御量PVの変化は、通常は制御量PVを乱す外乱と捉えられるが、制御したい設定値SPに変更に連動して、これに追従する作用となるようにK_gを変更すれば、追従性を向上させることができる(AG連動)。K_gを設定値変更を追従する側にΔK_g変化させてK_g' = (K_g+ΔK_g)とすれば、制御量PVの変化分ΔPV_{ag} = (ΔK_g×K_m) × ΔMVだけ追従性を向上する方向の値となる。

これを、VAV空調システムと対応させると(図14 下)、室

温制御に必要な各VAVゾーンの給気風量MV_rは給気温度PV_sに依存するため、給気温度PV_sの変更はFB制御系のアクチュエータゲインK_gの変更に相当する。

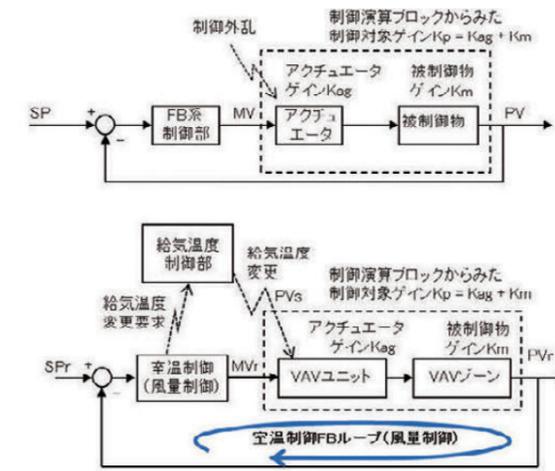


図14 フィードバック (FB) 制御ブロック図
(上:一般的なFB制御, 下:VAV空調制御)

3.4 AG連動によるVAV空調システム

室温変動の追従性に課題がある一般的なVAV空調システムでは、給気温度変更が遅れを伴い、この給気温度が、室温制御FBループの制御外乱として室温設定値への追従性を阻害する要因となることが多い。例えば、図15は、室温を26℃~28℃で周期変動させる目的で室温設定値SP_rを黄線のように設定しても、給気温度変更の遅れによって室温設定値SP_rと給気温度PV_sの上下動が反転し(室温設定値SP_r上昇/下降時に給気温度PV_sが下降/上昇)、室温変動が阻害される例である(温熱実験室の実験データ、室温は居住域実測温度)。室温変動幅2.0℃の設定に対し、居住域温度の変動幅は0.3~0.6℃程度に留まっている。

これに対し、AG連動制御では、SP_rとPV_sの変動周期を同期させ、所望の室温変動幅となるように給気温度設定値SP_sを決定する(図16 給気温度設定値演算部)ため、同様の空調システムにAG連動制御を適用するだけで、1.4~2.0℃(平均1.7℃)の変動幅が実現できている(図17)。ここでは、PV_sとSP_rの変動周期を同期させるために(図17 ②)、SP_sは、給気温度制御ループの遅れ時間分を(SP_rの変動よりも)前倒して(遅れ時間補正)決定している(図17 ①)。

なお、前述のように、この給気温度変動は室温制御ループ側の外乱ともなり得るため、補助的な範囲に留めるのが望ましく、給気温度の変動幅は過去に実施した室温一定制御の実績データを目安に決定するとよい。また、室温設定値と給気温度設定値のプロファイルを併せてあらかじめスケジューリングしておくことが可能である。

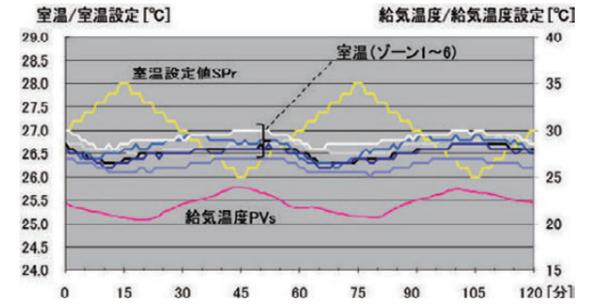


図15 室温変動が阻害されるケースの制御応答例

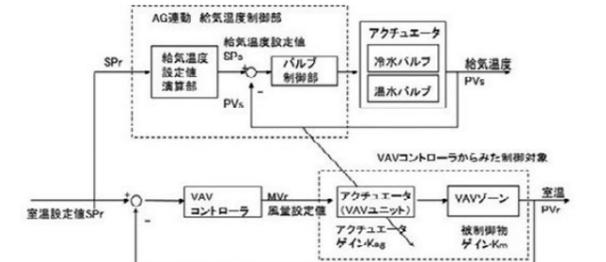


図16 AG (Actuator Gain) 連動制御の制御ブロック図

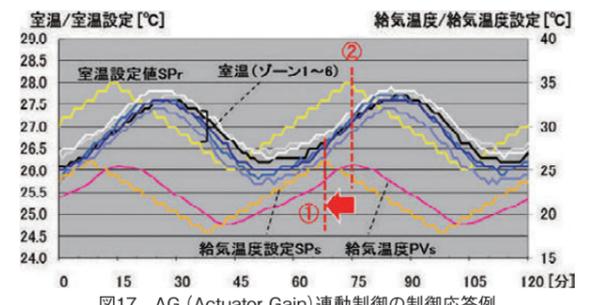


図17 AG (Actuator Gain) 連動制御の制御応答例

4. おわりに

室温を周期的に変更する室温変動環境に着目し、快適性/知的生産性と省エネルギー/省CO₂を両立する温熱環境として有望であることを、被験者実験により明らかにした。室温変動環境は、特に、知的生産性を支える環境満足度向上やストレス蓄積の抑制で有効との結果が得られた。

室温変動環境の実現にあたり、室温設定値の追従性が課題となる場合は、AG連動制御による改善が可能である。今後は実建物での検証を重ね、居住者の快適性/知的生産性に貢献する技術として実用化を目指したい。

なお、本報は国土交通省平成22~24年度住宅・建築関連先導技術開発助成事業「居住者満足感に基づく省エネルギー性と快適性の最適環境制御技術の開発」の一部である。

<注釈>

- 注1) 計算作業等、知的生産性に関連する模擬作業成績
- 注2) ASHRAE standard 55-2013では作用温度で規定されている(1.1℃/0.25 h未満かつ1.7℃/0.5 h未満)。
- 注3) 変動制御ケースの作用温度上昇速度はASHRAE standard 55-2013を満たす範囲であることを確認した。

注4) 着衣量0.5 [clo], 代謝量1.1 [met]とした実験時PMVは0.16～0.83であり, 2.1.3の試算範囲と同等であった。

<参考文献>

- (1) Tanabe, S., Kobayashi, K., Kiyota, O. et al.: The effect of indoor thermal environment on productivity by a year-long survey of a call centre, Intelligent Buildings International 1(3): 184-194, 2009
- (2) de Dear, R., T. Akimoto, E. Arens, et al.: Progress in thermal comfort research over the last twenty years, Indoor Air 23(6): 442-61, 2013
- (3) 川口玄, 西原直枝, 羽田正沖 他: 室内環境における知的生産性評価(その8)採涼手法の導入による温熱環境満足度の向上が知的生産性に与える影響, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集Ⅲ: 2015-8, 2008.8
- (4) Lan, L., Z. Lian, L. Pan, and Q. Ye: Neurobehavioral approach for evaluation of office workers' productivity: The effects of room temperature, Building and Environment 44(8): 1578-88, 2009
- (5) 経済産業省 省エネルギー技術戦略2016 <http://www.meti.go.jp/press/2016/09/20160916002/20160916002.html>
- (6) Miura, M., and T. Ikaga: Human response to the indoor environment under fluctuating temperature., Science and Technology for the Built Environment 22(6): 820-830, 2016
- (7) Wyon, P.D., T. Asgeirdottir, P. Kjerulf-Jensen, et al.: The effects of ambient temperature swings on comfort, performance, and behavior. Archives de Sciences Physiologiques 27(4): A441-58, 1973
- (8) Rohles, F.H., G.A. Milliken, D.E. Skipton, et al.: Thermal comfort during cyclical temperature fluctuations., ASHRAE Transactions 86(2): 125-40, 1980
- (9) Shinozuka, T., T. Ikaga, C. Kaseda, et al.: Modeling of thermal comfort based on physiological and psychological parameters., Proceedings of Roomvent 2011, Trondheim Norway, June 19-22, 2011, CD-ROM.
- (10) 水谷佳奈, 伊香賀俊治, 総田長生 他: 居住者満足感に基づく変動空調制御技術の開発(第1報)室温変化に対する居住者の申告特性と作業効率の分析, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集Ⅲ: 2205-8, 2011.8
- (11) 多和田友美, 伊香賀俊治, 村上周三 他: オフィスの温熱環境が作業効率及び電力消費量に与える総合的な影響, 日本建築学会環境系論文集: 75(648), 213-9, 2010.2
- (12) Chikamoto, T., and N. Hashimoto: Study on air-conditioning control which considers human comfort corresponding to thermal environment

change from outdoor to indoor., Proceedings of Sustainable Building 2008, Melbourne, Australia, September 21-25, 212-221.

- (13) Yamaguchi, M., T. Kanemori, M. Kanemaru, et al.: Performance evaluation of salivary amylase activity monitor., Biosensors & Bioelectronics 20(3): 491-7, 2004
- (14) 中野敦行, 山口昌樹: 唾液アミラーゼによるストレスの評価, バイオフィードバック研究38(1): 3-9, 2011.4
- (15) 三浦真由美, 田中雅人: 制御装置および制御方法, 特開2014-231939, 2014.12.11

<著者所属>

- 三浦 真由美 技術開発本部 HCA技術部
 上田 悠 技術開発本部 HCA技術部
 水谷 佳奈 ビルシステムカンパニー
 マーケティング本部環境マーケティング部
 原山 和也 ビルシステムカンパニー
 マーケティング本部プロダクトマーケティング部
 太宰 龍太 ビルシステムカンパニー
 マーケティング本部プロダクトマーケティング部
 伊香賀 俊治 慶應義塾大学 教授
 理工学部 システムデザイン工学科



azbil Technical Review azbilグループ技術研究報告書 2017年4月発行号

発行日 2017年4月1日(通巻58号)
 発行責任者 高橋美加子(アズビル株式会社 経営企画部広報グループ)
 編集委員会 委員長: 塩手良知
 委員: 筒井宏明、野間節、百瀬修、小浜孝光
 事務局: 小貝正義、菅野裕子
 発行所 アズビル株式会社 経営企画部広報グループ
 〒100-6419 東京都千代田区丸の内2-7-3 東京ビル
 TEL.03-6810-1006

本誌掲載の論文は下記サイトでご覧いただけます。
<http://www.azbil.com/jp/corporate/pr/library/review/>

©2017 Azbil Corporation All Rights Reserved Printed in Japan

●本誌から無断転載・複製はご遠慮ください。

●本誌に掲載した名称の中には、それぞれの各社が商標として使用している場合があります。